



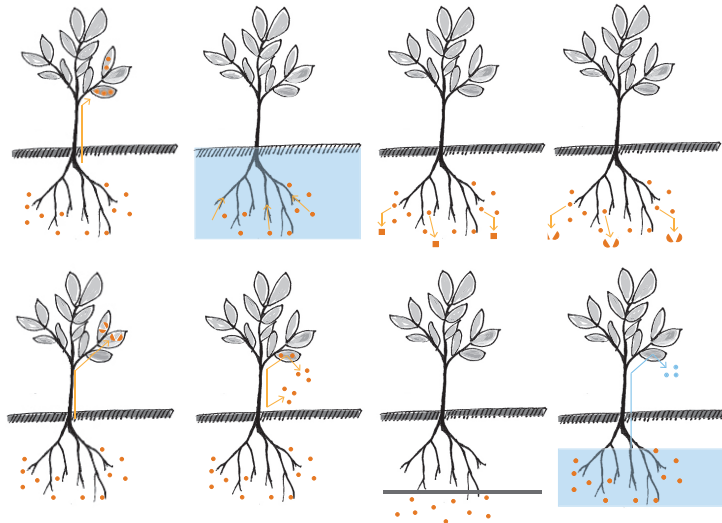
Sveriges lantbruksuniversitet  
Sweden University of Agricultural Sciences

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds-  
och växtproduktionsvetenskap, SLU

# ATT RENA MARK MED VÄXTER

EN UNDERSÖKNING AV FYTOREMEDIERING  
SOM RENINGSMETOD SAMT TILLÄMPNINGSPRINCIPER

---



SOFIA CLASSON

Självständigt arbete • 30 hp  
Landscape Architecture - master's programme

Alnarp 2015

### ATT RENA MARK MED VÄXTER

En undersökning av fytoremediering som reningsmetod samt tillämpningsprinciper

### CLEANING SOILS BY THE USE OF PLANTS

An examination of phytoremediation as a method and implementation principles

SOFIA CLASSON

**Handledare:** Helena Mellqvist, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Examinator:** Christine Haaland, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Biträdande examinator:** Ann-Mari Fransson, SLU, Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

**Omfattning:** 30 hp

**Nivå och fördjupning:** A2E

**Kurstitel:** Master Project in Landscape Architecture

**Kurskod:** EX0775

**Program:** Landskapsarkitektur / Landscape Architecture - master's programme

**Utgivningsort:** Alnarp

**Utgivningsår:** 2015

**Omslagsbild:** Sofia Classon

**Elektronisk publicering:** <http://stud.epsilon.slu.se>

**Nyckelord:** fytoremediering, förorenad mark, landskapsarkitektur, sanering, postindustriella miljöer, urban design, rekreation, vegetationsbyggnad

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap  
Institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning

## FÖRORD

---

Det här examensarbetet är skrivet på masternivå inom landskapsarkitektur och blir mitt avslut på fem år vid SLU, Alnarp - först på landskapsingenjörsprogrammet och nu senast på Landscape Architecture Master's programme.

Jag vill rikta ett stort tack till min handledare Helena Mellqvist för all uppmuntran och vägledning genom arbetets gång. Jag vill även tacka Maria Greger som tog sig tid att svara på mina frågor. Ett stort tack även till Lina Fors och Erik Wrener för korrekturläsning och hjälpfulla kommentarer och till sist tack till nära och kära för stöd och uppmuntring!

*Sofia Classon*  
16 januari 2015

## SAMMANFATTNING

---

Idag pågår ett stort arbete med inventeringar av många förorenade områden runt om i Sverige. Sanering av dem är ett aktuellt ämne då många av de förorenade områdena återfinns på nedlagda industriområden i centrala delar av städer som nu är aktuella för exploatering. Examensarbetet undersöker den ännu relativt okända saneringsmetoden; fyto Remediering. Fyto Remediering är en metod som med hjälp av växters biologiska processer antingen kan ta upp, bryta ner eller stabilisera mark- och vattenföroreningar. Till skillnad från schaktsanering som är den vanligaste metoden idag anses fyto Remediering vara en ekonomiskt och ekologiskt hållbar saneringsmetod. Fyto Remediering kan därför ha möjlighet att få en betydande roll i omvandlingen av gamla industriområden.

Fyto Remediering är ett nytt område inom landskapsarkitektur och målet med det här arbetet har därför varit att sammanställa den forskning och kunskap om fyto Remediering som finns idag ur två perspektiv; fyto Remedieringens processer under mark och de upplevelsevärden som växterna kan bidra till ovan mark. Det som framkommit som landskapsarkitektens roll för att kunna bidra till en ökad användning av metoden är bland annat att visa på de mervärden som metoden kan ge till platsen. Till exempel genom att tillfälliga gröna miljöer skapas i utvecklandet av industriområden som ofta har en brist på grönområden.

Arbetet syftar till att bland annat undersöka fyto Remedieringens möjligheter och utmaningar som saneringsmetod i Sverige. Genom litteraturstudien har det framkommit att tidsperspektivet, både i den fysiska planeringen vid efterbehandling av förorenade områden och den långa tid som metoden behöver för att kunna nå resultat, är hindrande faktorer för att metoden ska testas. Fyto Remediering är en komplex metod som kan anses vara osäker då metoden består av många moment, och många olika kompetenser måste därför vara inblandade för att kunna nå ett

lyckat resultat. Möjligheterna med fyto Remediering har dock visat sig vara många; växternas biomassa kan användas för bioenergi för att ge ytterligare ekonomiska fördelar, metoden kan användas i ett pedagogiskt syfte med involvering av medborgare i planeringsprocessen samt att den kan bidra till ökade rekreationsvärden i det förorenade området.

Examensarbetet avslutas med en undersökning av fyto Remedieringens lämplighet att användas vid tre vanligt förekommande postindustriella kontexter; gasverkstomter, nedlagda bensinstationer samt soptippar, genom generella principer för utformning av reningsmodeller. Dessa generella principer är utvecklade utifrån den kunskap som presenteras i arbetet och är avsedda att även ge en visuell känsla till de mervärden som kan skapas till platsen genom att använda fyto Remediering som saneringsmetod.

De framtagna reningsmodellerna i detta arbete visar att det finns möjlighet att kunna skapa variationsrika och spännande miljöer under den pågående reningsprocessen. Resultatet från reningsmodellerna visar bland annat att fyto Remediering har potential som saneringsmetod på både gasverkstomter, nedlagda bensinstationer och soptippar. Den komplexa föroreningssituationen som gasverkstomterna har gör dock att fyto Remediering möjligen inte kan användas som enda saneringsmetod men skulle däremot vara möjlig att använda som metod både parallellt med andra saneringsmetoder men också parallellt med att platsen exploateras och bebyggs. På grund utav att fyto Remediering är en tidskrävande metod och att en snabb saneringsprocess ofta är nödvändig, framkommer det dock att de förorenade platserna som har låg prioritet för åtgärd är de platser där fyto Remediering troligtvis har störst möjlighet att testas som metod. Nedlagda bensinstationer och deponier kan vara exempel på sådana platser.

## ABSTRACT

---

In Sweden today, there is a lot of work finding and rebuilding polluted areas. The decontamination of these areas is an important topic since many of them are situated in old industry areas in central parts of cities, which are to be exploited with new buildings and parks. This essay is investigating the relatively unknown decontamination method; phytoremediation. Phytoremediation is a method that uses the biological processes of plants, either by absorbing, by breaking down or by stabilizing ground- and water pollution. Unlike shaft remediation, which is the most common decontamination method, the phytoremediation method is considered as an economical and ecologically sustainable method. These two facts are clearly indicating that the method might be considered when rebuilding old industry areas in cities.

Phytoremediation is a new research area within landscape architecture and the aim for this essay has been to summarize the research and knowledge about the method out of two perspectives; the processes of phytoremediation beneath the ground and the experiences the plants can give the citizens above the ground. In order to make the method more popular, it has shown through out my work that the landscape architect has an important role to play. It can be promoted by stating that contemporary green areas can add something to an old industry area while it's being remediated and rebuilt.

One of the aims for the essay is to investigate the possibilities and challenges for the phytoremediation method as a decontamination method in Sweden. The literature study has shown that 'the time perspective', both in the planning process for decontamination of polluted sites and the fact that the method in it self is time consuming, might be factors that makes the method less attractive. It is also a complex method due to the many different steps in the process and the need for a lot of different competences in order to reach a good result. The possibilities of the phytoremediation method has still shown to be many; the biomass of the plants

can be used as bioenergy in order to produce economic profit, the method can be used as an educational tool since citizens can be involved in the planning and the actual planting process of the area and it can also add increased recreation values in the area.

In the final part of the essay there is an investigation of the phytoremediation method connected to three common post-industrial contexts; gasworks sites, disused gas stations and old dumps. This investigation is carried out as general principles for the design of remediation models. These general principles are developed based on the knowledge presented in the essay and their purposes are to investigate the possibilities for the method at these three brownfield sites but also to give a visual feeling to the values phytoremediation as a decontamination method can give to the polluted areas.

The remediation models show that it is possible to create diverse and exciting environments during the clean up process. The result from the remediation models shows, among other things, that phytoremediation has potential as a remediation method at gasworks sites, disused gas stations and old dumps. Phytoremediation may, however, not be possible to use as the only clean up method since the pollution situation can be very complex. As gasworks sites are relatively large, phytoremediation have, however the ability to run both in parallel with other remediation methods but also in parallel with the site being exploited and built over.

Since phytoremediation is a time consuming method and a quick clean-up process is often necessary, it appears that the contaminated sites that have low priority for decontamination are the places where phytoremediation probably have the greatest opportunity to be tested as a method. Disused gas stations and old dumps can be examples of that kind of areas.

## INNEHÅLL

---

FÖRORD

SAMMANFATTNING

ABSTRACT

### **DEL 1. INTRODUKTION.....9**

Bakgrund

Syfte och mål

Frågeställningar

Avgränsningar

Målgrupp

Metod och material

Begreppsförklaringar och förkortningar

Disposition

### **DEL 2. FÖRORENADE OMRÅDEN.....15**

Förorenad mark i urbana miljöer

Omvandling av industriområden

Sveriges miljömål och miljölagstiftning

Efterbehandling av förorenade områden

### **DEL 3. FYTOREMEDIERING.....23**

En ny grön teknik

Möjligheter med fytoremediering

Fytoremedieringens utmaningar  
och begränsningar

Beskrivning fytotekniker

*Fytoextraktion*

*Rhizofiltrering*

*Fytostabilisering*

*Fytostimulering/rhizodegradering*

*Fytodegradering*

*Fytoavdunstning*

*Fytotäckning*

*Hydraulisk kontroll*

### **DEL 4. FYTOREMEDIERING, DESIGN OCH REKREATION.....39**

Det "nya vilda" i postindustriella miljöer

Fytoremediering och landskapsarkitektur

**DEL 5. ATT TILLÄMPA  
FYTOREMEDIERING.....45**

STEG 1. Inventering och analys  
STEG 2. Val av metod  
STEG 3. Design  
STEG 4. Implementering  
STEG 5. Under reningsprocessen  
STEG 6. Avslut

**DEL 6. UTFORMNINGSPRINCIPER  
FÖR RENINGSMODELLER.....55**

Gasverkstomter  
Nedlagda bensinstationer  
Soptippar

**DEL 7. SAMMANFATTANDE  
DISKUSSION.....77**

Val av ämne och metod  
Reflektioner  
Slutord

**REFERENSER.....83**

**FIGURFÖRTECKNING.....89**

*Samtliga bilder är godkända för publicering i detta examensarbete.*

**BILAGA 1. SAMMANSTÄLLNING  
FYTOTEKNIKER**

**BILAGA 2. VÄXTLISTA**





# DEL 1.

## INTRODUKTION

---

### BAKGRUND

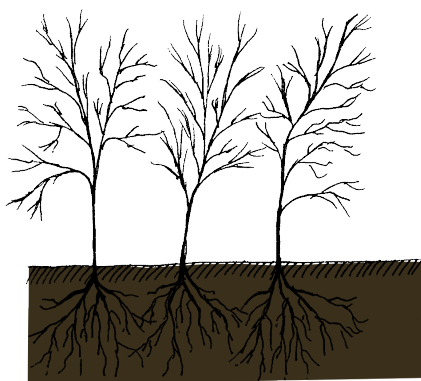
I många av västvärldens gamla industri- och hamnstäder sker nu en märkbar förändring. I motsats till de ”smutsiga” industrierna som sedan industrialiseringen tid präglade städernas stadsbild, eftersträvas nu att sudda bort den förorenade historien och istället låta ekologin och naturen skapa en ny identitet åt platsen och staden. Ekonomisk, ekologisk och social hållbarhet är nyckelorden för många av dessa omvandlingar. Ett problem som dock uppstår vid omvandlingen av industriområden är att marken ofta är förorenad. Att sanera för att hälsosamma och trygga boendemiljöer ska kunna skapas är då ett måste men är väldigt kostsamt och sker sällan med miljövänliga metoder. Nya ”gröna” och kostnadseffektiva tekniker för sanering behövs för att de nya områdena ska kunna uppnå ekonomisk och ekologisk hållbarhet. Fytoremediering är en metod som med hjälp av växter kan rena den förorenade marken och skulle därför kunna spela en stor roll i framtidens stadsutveckling. Fytoremediering verkar dock än så länge inte vara

allmänt accepterad eller tillräckligt prövad i Sverige för att kunna utmana konventionell sanering.

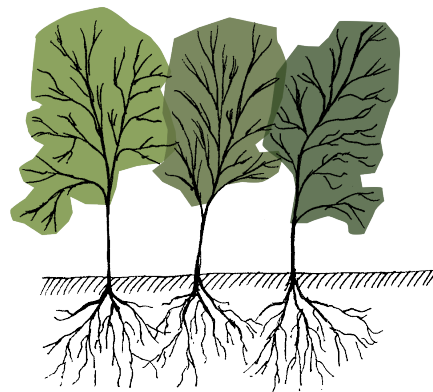
Mitt intresse för fytoremediering uppkom genom ett projekt i kursen *Planning project – Driving forces and contemporary tendencies* som jag läste hösten 2012. Projektet gick ut på att ett strategiskt sätt driva omvandlingen av ett hamnområde i Køge, Danmark, framåt och skapa liv i området innan stadsdelen står klar. Jag arbetade i projektet med fytoremedieringsprincipen för att i etapper rena den förorenade marken och samtidigt öka intresset för platsen samt för att utgöra en grund för den framtida grönstrukturen. Att kunna använda växter för att rena förorenade områden och göra dem tillgängliga för nya användningsområden känns väldigt fascinerande och har sedan dess funnits kvar som ett intressant ämne att fördjupa mig inom.

Jag vill genom det här arbetet undersöka två aspekter av fytoremediering, det första hur växternas processer för rening går till och den andra

hur växterna kan ge mervärden såsom attraktivitet och rekreation under reningsprocessen. Alltså både vad som händer under jord och över jord. De två aspekterna bildar tillsammans en helhet och skapar relevans inom dagens landskapsarkitektur (figur 1:1 - 1:2).



Figur 1:1 Fytoremedieringens reningsprocess under mark.



Figur 1:2 Fytoremedieringens upplevelsevärden ovan jord.

## SYFTE OCH MÅL

Syftet är att genom detta examensarbete undersöka fyto Remedieringens möjligheter och utmaningar som saneringsmetod i Sverige samt att få en fördjupad kunskap kring tillämpningen av metoden för att kunna arbeta med den senare i mitt yrkesliv.

Målet är att på ett lättillgängligt sätt göra en kunskapssammanställning av den forskning och kunskap kring fyto Remediering som finns idag samt undersöka dess potential att ge en övergiven plats ett rekreativt värde under reningsprocessen.

## FRÅGESTÄLLNINGAR

1. *Hur fungerar fyto Remediering och vilka möjligheter och utmaningar har denna saneringsmetod i Sverige?*
2. *Hur kan fyto Remediering få en större roll i dagens stadsutveckling?*
3. *Kan en plats där fyto Remediering används som saneringsmetod utformas för att ge rekreativt värden samt vara attraktiv under reningsprocessen?*

## AVGRÄNSNING

Fyto Remediering är en komplex metod som kräver mycket kunskap kring växters biokemiska processer. Jag kommer i detta arbete endast att beröra metodernas processer på ett grundläggande plan utifrån vad som kan anses tillräckligt inom området landskapsarkitektur.

## MÅLGRUPP

Målgruppen för detta examensarbete är tänkt att främst vara landskapsarkitekter och landskapsingenjörer men även de yrkesgrupper i till exempel miljöförvaltningar och stadsbyggnadskontor runt om i landet som har intresse av att lära sig mer om fyto Remediering och dess möjlighet som saneringsmetod i Sverige.

## METOD OCH MATERIAL

Detta examensarbete är uppdelat i en litteraturstudie och en tillämpande del/förslagsdel. Litteraturstudien som utgör den största delen av arbetet (del 2-4), kan ses som en kunskapssammanställning av bland annat den forskning och kunskap som finns idag kring fyto Remediering. Litteraturstudien ämnar också att sätta in fyto Remedieringen i den svenska problematiken kring förorenade områden samt undersöka de rekreativa värdena som metoden kan ge till ett postindustriellt område. Jag har på grund av de olika delarna i litteraturstudien använt mig av litteratur från flera olika fält. För studierna kring förorenade områden har många dokument från främst Naturvårdsverket och Boverket studerats, dessa myndigheter har varit viktiga kunskapskällor för mig. Kontakt har även tagits med tjänstemän vid miljöförvaltningen både i Malmö och i Göteborg för att förstå deras syn på efterbehandlingsprocessen och möjligheter med fyto Remediering som saneringsmetod. För studien kring fyto Remediering som metod har en litteratursökning gjorts främst baserat på databaserna Primo och Google Scholar. Jag har där använt mig av sökordet *phyto remediation* och i kombination med t ex *landscape planning*, *landscape design*, *brownfield* med flera. Mycket litteratur har också funnits genom olika källors referenslistor. En viktig sådan källa har varit Mia Falk och Johanna Ronnhedens examensarbete *Succession: Landskapsarkitekten och fyto Remedieringen* skrivet vid institutionen för Stad & Land, SLU, 2010. Det insamlade materialet har varit både vetenskapliga artiklar, bokkapitel och dokument från myndigheter i främst USA eftersom fyto Remediering är mer utvecklat som metod där. En viktig källa har därför varit Environmental Protection Agency (EPA), motsvarande naturvårdsverket i USA. För att få in det svenska perspektivet på användandet av fyto Remediering har jag varit i kontakt med Maria Greger, en forskare vid Stockholms universitet, Botaniska fakulteten, som gjort flertalet studier kring fyto Remediering i Sverige. En intervju med Maria gjordes via telefon 2014-04-10. Intervjun kan kategoriseras som en semistrukturerad intervju som beskrivs av Patel och Davidsson (2011) som en öppen form av intervju där intervjupersonen har stor frihet att utforma svaren. För litteratur till del 4 (Fyto Remediering, design och rekreation)

har jag använt mig av det material jag funnit som kopplat fyto Remediering till landskapsarkitekturen men även litteratur inom vegetationsbyggnad och miljöpsykologi.

Den tillämpande delen/förslagsdelen av arbetet (del 5-6) består först av en stegvis beskrivning av hur ett fyto Remedieringsprojekt kan gå tillväga. Vidare består den av närmare studier kring generella förutsättningar för vanliga postindustriella kontexter och vilka möjligheter fyto Remediering har för att skapa rekreativa miljöer. Metoden för dessa delar beskrivs närmre i inledningen av varje del.

Vid starten för detta arbete var tanken att använda en verklig kontext för ett tillämpande förslag/designförslag. Det visade sig inte helt lätt att hitta en plats med den nödvändiga information kring vilka föroreningar som fanns på platsen eller vilka exploateringsplaner som fanns. Jag inriktade mitt letande kring utvecklingen av centrala Älvstaden i Göteborg, även Norra Sorgenfri i Malmö var ett alternativ som jag tittade på. Jag insåg även under arbetets gång att ett sådant förslag även skulle vara för tidskrävande och omfattande att utforma inom ramen för detta examensarbete. Jag valde därför tillsist att istället ge förslag på generella tillämpningsprinciper i olika postindustriella kontexter.

## BEGREPPSFÖRKLARING OCH FÖRKORTNINGAR

Biotillgänglig – Föroreningarnas tillgänglighet för växterna att ta upp dem.

Efterbehandling – Arbetet med sanering av markföroreningar.

Ekosystemtjänster – Förmåner människan erhåller från ekosystemen (Bolund & Hunhammar, 1999).

Ex situ metoder – Behandling av föroreningarna på annan plats än där de släppts ut.

Fytoteknik – Begreppet fytoteknik används i detta arbete som beteckning för de olika

fyto Remedieringsprocesserna.

Fytotoxicitet – När växterna inte tål de höga halterna av markgifter.

Föroreningar – I detta arbete syftar föroreningar till organiska och oorganiska föreningar som återfinns i mark eller vatten, alltså ej luftföroreningar om det inte anges.

Hyperackumulerare – växter med hög biomassaproduktion.

In situ metoder – Behandling av föroreningarna på ursprungsplatsen.

KM – känslig markanvändning.

Lakvatten – vätska som läcker ut från avfall vid deponier, mellanlagring eller transport (Avfall Sverige, 2015).

MIFO – Metodik för inventering av förorenade områden framtagen av Naturvårdsverket.

MKM – mycket känslig markanvändning.

PAH – Polyaromatiska kolväten, en grupp ämnen som finns i stenkol och petroleum. Kan också bildas vid förbränning av organiskt material. Cancerogena (NE, 2015a).

PCB – Polyklorerade bifenyl, organiska föreningar som används inom industrin. Föreningarna är svårnedbrytbara och kan vara hälsofarliga (NE, 2015b).

Post-industriellt område – Område som tidigare varit verksam industri.

Rekreation – Syftar i arbetet både till fysisk och mental rekreation som kan uppnås i vistelse i gröna miljöer.

Rhizosfär – växternas rotzon (NE, 2015c).

## DISPOSITION

Arbetet är tänkt att fungera likt en handbok som kan läsas i sin helhet men också genom utvalda delar ge den information som söks. Arbetet består av sju delar och är efter *DEL 1. INTRODUKTION* indelat som följande:

### *DEL 2. FÖRORENADE OMRÅDEN*

Del två studerar förorenade områden och hur de hanteras i lagar och i den fysiska planeringen. Syftet är att lyfta problematiken kring hantering av förorenade områden och genom det skapa en förståelse för var i processen för efterbehandling som det finns utmaningar för fytoremedieringsmetoden och vilka möjligheter som faktiskt finns för att metoden ska kunna användas.

### *DEL 3. FYTOREMEDIERING*

Den tredje delen består av en litteraturstudie kring fytoremediering. Syftet med denna del är att skapa en förståelse för metodens möjligheter och utmaningar, och få en djupare kunskap kring metodens olika tekniker.

### *DEL 4. FYTOREMEDIERING, DESIGN OCH REKREATION*

I del fyra är det fokus på fytoremediering och dess möjligheter till att skapa mervärden till reningsplatsen. Syftet är att skapa en förståelse kring de aspekter som kan anses vara landskapsarkitektens roll att bidra med till användandet av metoden.

### *DEL 5. ATT TILLÄMPA FYTOREMEDIERING*

Den femte delen beskriver hur arbetsprocessen för en tillämpning av fytoremediering kan se ut genom sex steg. Syftet är att ge en tydlig bild av vad som är viktigt att tänka på vid ett beslut om användandet av metoden och ge ytterligare kunskap kring vad som kan vara metodens utmaningar och begränsningar.

### *DEL 6. UTFORMNINGSPRINCIPER FÖR RENINGSMODELLER*

I del sex undersöks lämpligheten att använda fytoremediering på tre vanligt förekommande postindustriella kontexter; gasverkstomter, nedlagda bensinstationer och soptippar. Dessa kontexter står till grund för olika principer för reningsmodeller, där fytoremedieringens potentiella mervärden visas visuellt.

### *DEL 7. SAMMANFATTANDE DISKUSSION*

I del sju förs en sammanfattande diskussion med reflektioner kring den kunskap som samlats in genom litteraturstudien och genom de tillämpande delarna av arbetet för att besvara mina frågeställningar.



## INLEDNING

I denna del presenteras en bakgrund till problematiken kring förorenade områden i en urban kontext. En genomgång av hur förorenad mark hanteras idag, både i miljölagen, i den fysiska planeringen och i ett rent praktiskt perspektiv ger en inblick i hur och vilken roll fyto Remediering som saneringsmetod kan få i Sverige. Inledningsvis beskrivs hur situationen med förorenad mark ser ut idag. Efter det kommer ett avsnitt om omvandling av industriområden där återvinning av förorenad mark först tas upp följt av en beskrivning av 'brownfield planning'. Detta följs av ett avsnitt om Sveriges miljömål och miljölagstiftningar samt hur förorenade områden tas om hand i den fysiska planeringen. Till sist beskrivs de i dag vanligaste efterbehandlingsåtgärderna och vilka aktörer som har en viktig roll vid omhändertagandet av förorenade områden.

## DEL 2.

### FÖRORENADE OMRÅDEN

---

#### FÖRORENAD MARK I URBANA MILJÖER

Den industrialisering som samhället har genomgått sedan mitten av 1800-talet fram till idag har gett stora effekter på miljön och bidragit till att många mark- och vattenområden i natur och boendemiljöer runt om i världen har förorenats (Vangronsveld & Cunningham, 1998; Marmiroli et al., 1999). Det beräknas att det idag finnas ca 82 000 områden påverkade av föroreningar i Sverige (Miljömålsportalen, 2014) och många av dessa har förorenats under efterkrigstiden och fram till 1980-talet (Naturvårdsverket & Boverket, 2006).

Den vanligaste typen av förorenade områden är gamla industriområden där spill och läckage från verksamheterna har läckt ut giftiga ämnen i marken. Även nedlagda bensinstationer som förorenat marken med olja och bensin, sjöar som förorenats med avloppsvatten från industrier samt gamla soptippar som läckt miljögifter till grundvattnet är vanligt förekommande förorenade områden (Miljömålsportalen, 2014). I dessa



områden återfinns ofta de giftiga tungmetallerna kvicksilver, kadmium, bly och arsenik men även organiska föroreningar så som PCB, dioxiner, bekämpningsmedel och cancerogena PAH:er (Naturvårdsverket & Boverket, 2006). Närvaron av dessa föroreningar och spridningen av dem till omkringliggande områden kan ha en negativ inverkan på människors hälsa samt ha en skadlig effekt på levnadsmiljöerna för både växter och djur (ibid). För att hantera föroreningarna och återställa mark och vattendrag till hälsosamma och friska miljöer behöver de saneras på de giftiga metaller och organiska föroreningar som finns. Sanering av mark är dock ofta väldigt kostsamt och många områden blir därför inte omhändertagna (Raskin & Ensley, 2000).

Innan miljöskyddslagens tillkomst 1969 så har förorenade områden i Sverige endast efterbehandlats i en begränsad omfattning (COLDREM, 2003). Det pågår från slutet av 1990-talet ett arbete att riskklassa de förorenade områdena med hjälp av Naturvårdsverkets metodik för inventering av förorenade områden (MIFO). Riskklasseringen, som är indelad i fyra klasser där riskklass 1 ges till områden som utgör störst risk för människor och miljö, är till för att kunna prioritera vilka förorenade områden som ska undersökas närmre och sedan åtgärdas (SGI, 2014). Runt om i Sverige har i nuläget 1 686 förorenade områden åtgärdats och i 1 871 områden pågår en efterbehandlingsprocess (Miljömålsportalen, 2014).



Figur 2:1 Varning! Förorenat område, Botkyrka kommun

## OMVANDLING AV INDUSTRIOMRÅDEN

### Återvinning av mark

Jord och vatten är två av de grundelement som är våra viktigaste naturtillgångar för ett hållbart liv på jorden (ISRIC, 2014). Jorden i marken har många funktioner som till exempel att förse människor med mat, biomassa och råmaterial, att vara en plattform för mänsklig aktivitet samt att ha en central roll som levnadsmiljö för växt- och djurliv. Jorden förvarar, filtrerar och omvandlar även till exempel vatten, näringsämnen och kol (European Commission, 2007). Dessa funktioner gör jorden viktig ur både ett miljömässigt, ekonomiskt och socialt perspektiv (Scalenghe & Marsan, 2009). På många håll runt om vårt jordklot har marken och dess jord dock genom den mänskliga närvaron degraderats kraftigt på grund av överexploatering, överarbetning och olämplig markanvändning (ISRIC, 2014). Föroreningar och försämrad kvalitet av jord och vatten kan ha stora förödande konsekvenser för ekosystem, vilket kan påverka bland annat matproduktionen och därmed människors hälsa (Willey, 2007). Att därför rena den redan brukade och förorenade marken för att kunna återanvända den till nya användningsområden istället för att ta jordbruksmark eller annan värdefull naturmark i anspråk för utvidgning av våra städer är ett argument för en större omsorg av marken som naturresurs (Naturvårdsverket & Boverket, 2006).

Omvandlingen av många städer där industri- och hamnområden har haft centrala positioner lämnar stora möjligheter för utveckling av nya centrala stadsdelar. Den förorenade marken är där attraktiv och ger ett högt ekonomiskt värde och exploateringen av dem kan på så vis bidra till finansiering av efterbehandlingen. Enligt Boverket kan efterbehandling av förorenade områden därför ge stora samhällsvinster (Naturvårdsverket & Boverket, 2006). I Sverige är de mest framträdande exemplen på hur industriområden har omvandlats till nya stadsdelar; Västra hamnen i Malmö och Hammarby Sjöstad i Stockholm. I Hammarby Sjöstad, som var ett starkt förorenat industriområde, har en av de mest omfattande och noggranna marksaneringarna i Sverige gjorts för att kunna uppnå att bli en ren och ekologisk hållbar stadsdel (Dahlgren, 2001). Katarina Dahlgren beskriver



strategin för Hammarby Sjöstad i artikeln *Ett rent paradis* (2001) som grundat på politiska beslut: ”det smutsiga ska först bort från området – flyttas utanför. Därefter byggs den nya bättre världen upp.”. Detta högt uppsatta mål ledde till att närmare 17 000 ton förorenad jord som inte kunde sorteras och återanvändas fraktades ända till Värmland för att deponeras. Ny, ren och odlingsbar jord tillfördes istället för att bygga upp den nya stadsdelen på (Dahlgren, 2001). Dahlgren (2001) ställer sig därmed frågan om den här sortens markbyten verkligen är förenlig med ett kretsloppstänkande?

#### *Brownfield planning*

Brownfields definieras av Niall Kirkwood, redaktör för boken *Manufactured Sites: Rethinking the Post-Industrial Landscape* (2001), som ”övergivna eller oanvända industriområden där exploatering kompliceras på grund av de misstänkta eller befintliga föroreningarna”. Men menar vidare att termen oftast är relaterad till när mark anses ha ett ekonomiskt värde för exploatering (Kirkwood, 2001). ’Brownfield planning’ som begrepp har ingen direkt motsvarighet på svenska, men syftar till exploateringen av nedlagda industriområden. Diskussion kring och omvandlingen av ’brownfields’ har kommit längre i de länder som industrialiserades tidigt och därmed tidigare har behövt ta hand om övergivna industriområden, USA och Tyskland räknas till exempel som två föregångsländer för denna omvandling (Krinke, 2001). ’Brownfield planning’ beskrivs ofta i internationella planeringssammanhang som en av vägarna mot skapandet av ett hållbart samhälle (Dahlgren, 2001).

Ett tidigt exempel på industriell mark som omvandlats för att istället användas som parkmark är landskapsarkitekten Richard Haags Gaswork Park i Seattle, USA från 1970. Genom att Haag ville lyfta platsens historia och forma parken efter den nedlagda gasklockan och låta det industriella elementet utgöra en del av parken ansågs projektet vara kontroversiellt på den tiden (Falk & Ronnheden, 2010). Ett lite senare exempel på omvandling av industriområde till park är Landschaftspark Duisburg-Nord i Tyskland ritad av Peter Latz vilket Kirkwood (2001) beskriver som

en omvandling med utgångspunkt i det ekologiska istället för det ekonomiska. I det 230 ha stora området i norra Ruhr-distriktet som är ett gammalt kol-, stål- och järnindustriområde, har Latz bevarat och integrerat stora delar av industrimiljöerna i parkens utformning. De gamla strukturerna ska väcka besökarens egen lust och lekfullhet att använda platsen på sitt sätt (Latz, 2001).

Kombinationen av teknik och design är enligt Kirkwood (2001) utmaningen för att kunna skapa funktionella och estetiskt tilltalande postindustriella miljöer. Att ta vara på platsens historia i den nya gestaltningen är ett sätt att spegla och förstå de industriella processer som pågått på platsen (Kirkwood, 2001). Krinke (2001) beskriver



Figur 2:2 Gaswork Park, Seattle USA



Figur 2:3 Landschaftspark Duisburg-Nord, Tyskland

att en ny episod i utformningen av miljöer har skapats; där design och vetenskap kan kombineras i skapandet och omvandlandet av landskapet. Hon beskriver också att målet för många projekt är att skapa landskap som ifrågasätter förhållandet mellan natur/kultur och det dåtida/nutida, och att engagera besökarna av platsen i dessa frågor (Krinke, 2001).

I Sverige är, som jag nämnt tidigare, Västra hamnen i Malmö och Hammarby Sjöstad i Stockholm två föregångsexempel på exploatering av centrala industriområden. Båda dessa har däremot tvärtemot vad Krinke och Kirkwood beskrivit, aktivt försökt sudda bort kopplingen till dess tidigare industrihistoria (Hallemar, 2009). De nya stadsdelarna har båda profilerat sig som ekologiskt hållbara. Metoderna som har använts för att bli ekologiskt hållbara har dock både hyllats och kritiserats (Strand, 2013).

## SVERIGES MILJÖMÅL OCH MILJÖLAGSTIFTNING

Sveriges miljöpolitik har som främsta mål att *”vi år 2020 ska lämna över ett samhälle där de stora miljöproblemen i Sverige är lösta”*. Som verktyg för att arbeta mot detta mål har riksdagen tagit fram Sveriges miljömål där generationsmålet, de 16 miljö kvalitetsmålen och etappmål ska leda Sveriges miljöarbete och fungera som ett löfte för framtida generationer om frisk luft, hälsosamma livsmiljöer och rika naturupplevelser (Naturvårdsverket, 2012). Målen syftar till att främja människors hälsa, värna om den biologiska mångfalden och naturmiljön, ta till vara de kulturhistoriska värdena, bevara ekosystemens långsiktiga produktionsförmåga och trygga en god hushållning med naturresurserna (Naturvårdsverket, 2009). De 16 miljö kvalitetsmålen belyser olika områden och för förorenade områden är miljö kvalitetsmålet *Giftfri miljö* det mest aktuella målet.

*”Förekomsten av ämnen i miljön som har skapats i eller utvunnits av samhället ska inte hota människors hälsa eller den biologiska mångfalden. Halterna av naturfrämmande ämnen är nära noll och deras påverkan på människors hälsa och ekosystemen är försumbar.*

*Halterna av naturligt förekommande ämnen är nära bakgrundsnivåerna.”*

Riksdagens definition av miljö kvalitetsmålet *Giftfri miljö* (Naturvårdsverket, 2014a).

Miljö kvalitetsmålet *Giftfri miljö* kommer dock inte att kunna uppfyllas innan 2020 som regeringens mål är satt till (Miljömålsportalen, 2014). Andra mål som är kopplade till vikten av sanering före exploatering är *Levande sjöar och vattendrag*, *Grundvatten av god kvalitet*, *God bebyggd miljö* och *Ett rikt växt- och djurliv*.

De två lagar som är aktuella att ta hänsyn till vid exploatering av förorenade områden är miljöbalken (MB) och plan- och bygglagen (PBL). Miljöbalken är till skillnad från miljömålen som är politiska målsättningar ett juridiskt verktyg som är till hjälp för att kunna uppnå dessa mål (Naturvårdsverket, 2009). Miljöbalken trädde i kraft 1999 och är en sammanslagning av tidigare 16 miljölagar. Syftet med miljöbalken är att *”främja en hållbar utveckling som innebär att nuvarande och kommande generationer kan leva i en hälsosam och god miljö”* (Naturvårdsverket, 2013a). Under miljöbalkens 10:e kapitel finns det särskilda bestämmelser för förorenade områden. Bestämmelserna gäller vid de fall då föroreningarna i mark- och vattenområden samt byggnader och anläggningar är så stora att de riskerar att orsaka skador eller påverka människors hälsa och miljön (Naturvårdsverket & Boverket, 2006). Miljöbalkens främsta uppgift ligger på ansvarsfrågan, och i 10 kap 2 § MB behandlas ansvaret för efterbehandling. Paragrafen säger att den verksamhetsutövare som bidragit till en föroreningsskada eller allvarlig miljöskada är ansvarig för den efterbehandling som krävs (Sveriges Riksdag, 2014). Det ansvar som dock inte kan återkopplas till någon verksamhetsutövare faller på samhället (Naturvårdsverket & Boverket, 2006).

Frågan om exploatering av förorenade områden var då plan- och bygglagen infördes 1987 ingen större fråga vilket är anledningen till att det inte finns något specifikt uttryckt angående detta i lagen. Det finns däremot flera bestämmelser inom PBL som ger antydningar till krav på hänsyn till föroreningar

i mark, till exempel bestämmelserna om allmänna intressen i PBL, som kan innefatta intresse om god boendemiljö. Den allmänt ökade medvetenheten kring miljön och problematiken kring förorenade områden har lett till högre krav på miljöhänsynen i den fysiska planeringen. PBL har efter en ändring 1996 ställt krav på att miljö- och riskfaktorer angående användning av mark- och vattenområden ska redovisas i översiktsplanen. Även regler för miljöbedömning av planer har införts och bestämmelser om miljökonsekvensbeskrivningar har successivt skärpts (Naturvårdsverket & Boverket, 2006).

Enligt PBL 1 kap. 6 § ska mark för att få bebyggas vara lämplig för ändamålet, vilket innebär att föroreningsgraden bör vara på en nivå som är godkänd (Naturvårdsverket & Boverket, 2006). Det finns olika riktvärden för förorenad mark beroende på vilken markanvändning som planeras. Vid områden där till exempel bostäder eller parkmark planeras beräknas riktvärdena efter *känslig markanvändning*, KM. Vid bebyggelse av kontor eller industrier är riktvärdena istället anpassade efter *mindre känslig markanvändning*, MKM (ibid).

*Förorenade områden i den fysiska planeringen*  
Förorenade områden och efterbehandlingen av dem har en viktig plats i den fysiska planeringen. Detta eftersom många av dessa områden återfinns i just centrala delar av städer och därför utgör attraktiv mark för en ny typ av markanvändning som bostäder, kontor eller liknande (Naturvårdsverket & Boverket, 2006).

I Naturvårdsverket och Boverkets rapport *Förorenade områden och fysisk planering* (2006) uppmärksammas problemet med att markföroreningar inte får tillräckligt stort utrymme i den fysiska planeringen. Det framkommer att det kan uppstå problem vid samordningen mellan processen för efterbehandling och planeringen av en exploatering. Rapporten utlyser främst ett bättre samarbete och samordning mellan arbetet med förorenade områden och den fysiska planeringen. Efterbehandling av förorenade områden är något som ofta kommer in sent i planprocesserna, ofta så sent som i samband med att marken ska bebyggas, vilket kan leda till att efterbehandlingen

måste utföras under stor tidspress och då resultera i både högre kostnader och sämre resultat (Naturvårdsverket & Boverket, 2006).

Det praktiska problemet med samordningen är att frågor kring förorenade områden hanteras av olika aktörer och olika kompetenser. Den fysiska planeringen regleras enligt plan- och bygglagen (PBL) som främst hanteras av planerare på stadsbyggnadskontor och problemet med förorenade områden enligt miljöbalken (MB) hanteras av miljöansvariga på miljöförvaltningar. För att underlätta och minska tiden för plan- och tillståndprocesserna är ett fungerande samarbete en viktig faktor (Naturvårdsverket & Boverket, 2006).

Tidsperspektivet lyfts upp som det viktigaste för att kunna åstadkomma så effektiv efterbehandling som möjligt. Det är viktigt att så tidigt som möjligt i processen uppmärksamma problemet med föroreningar. Till exempel genom att beakta frågan redan i översiktsplaneringen så att det inte vid senare tillfälle, som i detaljplaneringen, behöver komma som något oväntat. Även genom att låta den inledande fasen i efterbehandlingsprocessen löpa parallellt med planarbetet kan mycket tid vinnas (Naturvårdsverket & Boverket, 2006).

## EFTERBEHANDLING AV FÖRORENAD MARK

Vid efterbehandling av förorenad mark är det vanligast att sanera de förorenade jordmassorna *ex situ* (på annan plats än den ursprungliga), det innebär att jordmassorna först måste schaktas upp för att sedan deponeras och lämnar på så vis även området på ruta ett med tillförd ren jordmassa (Naturvårdsverket, 2009). Naturvårdsverket uppskattar att hela 75 % av de förorenade jordmassorna deponeras. Anders Svensson (2014) vid Miljöförvaltningen i Göteborg anser att det är nästan uteslutande schakt och deponi som är den metod som används vid saneringsarbeten i Göteborg. Anledningen är enligt Svensson att det sällan finns tid för någon annan saneringsmetod, då saneringen oftast sker i samband med byggnation. Svensson nämner även att schakt ändå måste ske då de flesta fastigheter idag byggs med källare



(Svensson, 2014). Håkan Torbjörnsson (2014) vid Miljöförvaltningen i Malmö hävdar också att schaktmetoden är den vanligaste metoden i Malmö (Torbjörnsson, 2014). Det är en relativt enkel metod att lyckas med och att få klart inom den angivna tidsramen, men kan dock både vara miljöförstörande och kostsam (Vangrönsfeldt & Cunningham, 1998). Vid deponering måste jordmassan om den inte deponeras på en deponi för farligt avfall genomgå ytterligare sanering för att skydda mot läckage av tungmetaller. På grund av den stora kostnaden för metoden och beroendet av utrymme för deponering kan den anses vara olämplig för storskaliga saneringsområden (ibid).

Det finns även andra beprövade saneringsmetoder. Andersson (2003) delar upp de marksaneringstekniker som finns i fyra huvudgrupper; fysikaliska, kemiska, termiska och biologiska.

Bland de fysikaliska saneringsmetoderna är *jordtvätt* den mest beprövade. Jordtvätt innebär att jordmassorna sorteras i olika fraktioner. Eftersom föroreningarna oftast binds till de finkornigare fraktionerna kan dessa tvättas ut och de mesta föroreningarna följer därmed med (Andersson, 2003). *Luftning* av marken är en annan metod där föroreningarna extraheras ur marken för att sedan förbrännas. Denna metod fungerar endast för organiska föroreningar (ibid). *Inkapsling* kan också göras för att förhindra spridningen av föroreningarna och *markfilter* kan användas för att rena grundvatten (ibid). En av fördelarna med de fysikaliska metoderna är att de flesta kan användas *in situ*.

Kemiska saneringsmetoder går ut på att laka ur eller omvandla föroreningarna i jorden. *Kemisk rening* kan även innebära att jorden spolats med vatten med tillsatser som sedan tar med sig föroreningarna genom ett filter. Detta kan även göras *in situ*, alltså utan att flytta jorden från platsen men är inte en etablerad metod i Sverige (Andersson, 2003).

De termiska saneringsmetoderna är antingen *förbränning* eller *termisk avdrivning*. Båda går ut på att värma upp de förorenade massorna, antingen på så hög värme att de förstörs eller genom avdrivning

på lägre temperatur som gör att de lossnar och sedan kan tas om hand genom rökgasrening (Andersson, 2003).

De biologiska saneringsmetoderna utnyttjar naturligt förekommande processer i marken som utförs av bakterier eller svampar. Dessa bryter ned föroreningarna i marken till mindre farliga eller helt ofarliga ämnen. Metoden kan användas både *in situ* eller *ex situ* och kallas ibland *biosanering* eller *bioremediering* (Andersson, 2003). *Fytoremediering* hamnar också i denna kategori eftersom det är en metod som utnyttjar växters möjlighet att ta upp föroreningar (denna metod presenteras närmre i nästa avsnitt).

#### Aktörer vid efterbehandling

Efterbehandlingsarbetet av förorenade områden engagerar många olika aktörer på varierande nivåer och med olika ansvarsområden. Naturvårdsverket har ett nationellt samordningsansvar där de sköter övergripande planering och prioriteringar av efterbehandlingsarbeten samt fördelning av statligt bidrag. Länsstyrelserna har motsvarande ansvar som Naturvårdsverket men på regional nivå (Naturvårdsverket, 2003). Länsstyrelsen ansvarar även för riskklassering av områden (Naturvårdsverket, 2013b). I samråd med kommunerna planerar och prioriterar länsstyrelserna inventeringar, undersökningar och åtgärder. Kommunerna har sedan ansvar för tillsynsarbetet enligt miljöbalken men har även ansvar för planering, prioritering och åtgärder på lokal nivå. Arbetet med efterbehandling för kommunerna innefattar även att beakta problematiken i samband med den fysiska planeringen och vid pågående markanvändning (Naturvårdsverket, 2003).

Några andra aktörer inom efterbehandlingsarbetet av förorenade områden är till exempel Sveriges geologiska undersökning (SGU) som utreder och efterbehandlar områden där staten har ansvar, och statens geotekniska institut (SGI) som driver forskning och utveckling av teknik och kunskapsuppbyggande som rör förorenad mark (Naturvårdsverket, 2013b). Även privata aktörer finns med i arbetet för rening av förorenad mark som Svenska petroleum och biodrivmedelsinstitutet

(SPBI) och Nätverket Renare Mark. Genom aktiebolaget SPIMFAB (SPI miljösaneringsfond) har SPBI under åren 1997 till 2014 undersökt och vid behov åtgärdat föroreningar i mark vid mer än 4000 nedlagda bensinstationer (SPBI, 2014). Renare mark är ett aktivt nätverk där konsulter, forskare, myndigheter, entreprenörer kan utbyta kunskap och erfarenhet kring efterbehandling av föroreningar i mark och vatten (Naturvårdsverket, 2013b). Målet med nätverket är att *”skapa en ökad kontakt mellan olika grupper i samhället som berörs av problematiken, driva aktuella frågor och samarbeta med nordiska och europeiska nätverk i seminarier, konferenser och workshops i syfte att främja utvecklingen inom efterbehandlingen”* (Nätverket Renare Mark, 2014).

## SAMMANFATTNING

Det finns många förorenade områden i centrala delar av städer i Sverige som utgör attraktiv mark för exploatering. Att rena och återanvända den redan brukade marken betyder att en större omsorg av marken som naturresurs tas. Omvandling av industriområden kan göras efter olika gestaltungsideal, antingen genom att bevara och lyfta industrikaraktären för att återkoppla till historien eller genom att som på många platser sudda bort det smutsiga förflutna och ersätta med nya moderna ”ekologiskt hållbara” stadsdelar. Det stora behovet av efterbehandling av förorenad mark och de högt uppsatta miljömålen borde innebära att nya ekonomiskt och ekologiskt hållbara tekniker för sanering är av stort intresse. Men eftersom markföroreningar inte verkar få tillräckligt stort utrymme i den fysiska planeringen och frågan om efterbehandling ofta kommer in sent i planprocessen kan det göra att nya mer ”osäkra” metoder inte hinner testas. Schakt och deponi verkar därför vara den metod som slentrianmässigt används. Genom att tidigt uppmärksamma problemet med föroreningar, kanske så tidigt som i översiktsplaneringen, kan möjligheter för andra mer miljövänliga metoder som fytoremediering få tid och utrymme till att testas. Denna del har gett mig insikt i det komplexa arbete som efterbehandling av förorenade områden faktiskt är.



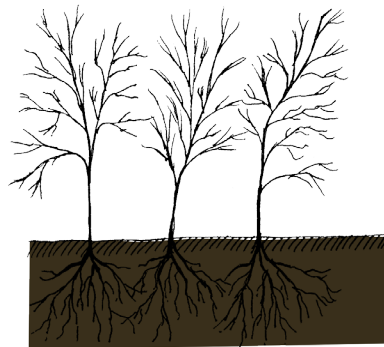
## DEL 3.

### FYTOREMEDIERING

---

#### INLEDNING

I följande del presenteras metoden för fytoremediering närmare. Första avsnittet börjar med att introducera metodens uppkomst, var forskningen är idag; i världen och i Sverige. Därefter lyfts metodens möjligheter, utmaningar och begränsningar vilket sedan följs utav beskrivningar av de vanligast använda fytoteknikerna som nämns i litteraturen.



Figur 3:1 Fytoremedieringens processer under mark.

## EN NY GRÖN TEKNIK

Att använda växter för att kontrollera degradering av mark- och vatten har en lång historia. Vegetation har genom tiderna använts inom jordbruket för att minimera jorderosion, rena vattendrag och återställa förstörd mark. Under 1900-talet började det utforskas kring växters förmåga att extrahera olika föroreningar från marken. Begreppet fytoremediering myntades dock inte förrän på 1980-talet (Willey, 2007), och kan definieras som växters förmåga att immobilisera, ta upp och bryta ned miljöföroreningar (Marmiroli et al., 1999). Alla växter har möjligheten att ta upp tungmetaller som är nödvändiga för deras förmåga att växa, men vissa växter har också förmågan att ta upp tungmetaller som inte har någon biologisk funktion såsom kadmium, krom, selen och koppar (Salt et al., 1995). Växter har också visat sig kunna ta upp bland annat halvmetaller, salter, organiska kemikalier, radionuklider och luftföroreningar (McCutcheon & Schnoor, 2003). Forskningen om fytoremediering har sedan 1980-talet gått fort framåt (Willey, 2007) och eftersom växter är en 'solenergidriven' förnyelsebar resurs har fytoremediering vunnit mark som en mer hållbar saneringsmetod i jämförelse med konventionella metoder (Raskin & Ensley, 2000; Pilon-Smits, 2005). Att använda fytoremediering som saneringsmetod har fler effekter än att endast rena marken. Det är en estetisk, naturlig och passiv metod som ger fytoremedieringsområdet fördelar gentemot konventionella metoder (Westphal & Isebrands, 2001). Metoden kallas i Sverige ibland även för fytosanering (COLDREM, 2003).

Metodens popularitet har främst ökat i USA både hos myndigheter och inom den privata sektorn. I Europa har metoden ännu inte fått sitt stora kommersiella genomslag (Pilon-Smits, 2005), det dyker dock upp fler och fler projekt som tyder på att intresset för metoden ökar. Maria Greger, som är forskare vid Botaniska institutionen vid Stockholms universitet och har drivit forskning kring upptag av tungmetaller i salixarter, säger att det kommersiella genomslaget av fytoremediering går trögt i Sverige. Greger fortsätter dock med sin forskning och har hopp om att metoden till slut ska spridas och därmed börja användas. Hon berättar också att det är många som kontaktar henne med

frågor kring metoden, bland annat länsstyrelser och intresserade studenter, vilket tyder på att ett intresse ändå finns (Greger, 2014). Marmiroli et al. (2006) menar att orsaken till att utvecklingen har gått mer framåt i USA och Kanada kan bero på involveringen av privata företag. Schwitzguébel et al. (2002) är också inne på samma sak och menar att den största skillnaden ligger i att USA generellt är mer inriktat på tillämpning och erfarenheter medan det i Europa generellt har drivits mer grundläggande forskning för att efter resultaten planera för tillämpning. Maria Greger (2014) ställer sig därmed i det europeiska laget då hon poängterar vikten av forskning för att metoden ska kunna nå lyckade resultat och därmed spridas, eftersom projekt utan lyckade resultat kan skada metodens rykte och därmed dess fortsatta utveckling (Greger, 2014). I Sverige har även ett nationellt program där en kunskapsbas för sanering av förorenad mark i det svenska klimatet, COLDREM - Soil Remediation in a cold climate, pågått under åren 1997-2002. Forskning har utvärderat biologiska, kemiska och fysikaliska behandlingsmetoder för marksanering i kallt, nordiskt klimat. Fytoremediering ingick som en del i detta, med laboratorieförsök och fältförsök (COLDREM, 2003).

## MÖJLIGHETER MED FYTOREMEDIERING

Fytoremediering har många möjligheter att utvecklas som en ekologisk, ekonomisk och socialt hållbar metod då vegetation planterad för fytoremediering kan ha fler funktioner parallellt med dess saneringsfunktion. Nedan presenteras de vanligt funna fördelarna med fytoremediering från litteraturen.

### Ekologiska och ekonomiska fördelar

Fytoremediering har sin största attraktivitet som en grön och hållbar teknik (Marmiroli & McCutcheon, 2003). Att fytoremediering är en metod som används *in situ* (behandling på plats) ger fördelar då saneringen kan ske utan att göra någon större inverkan på platsen (Glass, 2000; Marmiroli & McCutcheon, 2003). Genom att jorden behålls på platsen och blir återvunnen på ett biologiskt säkert sätt istället för att jorden förflyttas och deponeras på en förvaringsplats ger metoden stora ekologiska fördelar (Salt et al., 1995). Att behandla jorden *in situ* minskar också exponeringen av föroreningar



för människor, miljö och växt- och djurlivet. Det innebär också att kostnaderna för saneringen hålls nere då stora jordmassor inte behöver transporteras (Pilon-Smits, 2005), och de ekonomiska fördelarna med fytoremediering är oftast de som nämns som metodens största fördel jämte de konventionella saneringsmetoderna (Glass, 2000; COLDREM, 2003; Marmioli & McCutcheon, 2003). De främsta kostnaderna för fytoremediering är förberedelse av jorden, växtmaterialet, plantering, underhåll och tillsyn av växtmaterialet och till sist skörden av vegetationen (Glass, 2000). Kostnaderna för fytoremediering kan enligt Ensley (2000) vara hela 80 % lägre jämfört med schaktning och deponering.

Vid sanering av tungmetaller kan även de värdefulla metallerna återvinnas och ge ytterligare ett ekonomiskt värde till metoden, detta kallas *phyto-mining* (Glass, 2000). Används energigrödor kan även dessa ge en ekonomisk vinst genom att de förbränns och utvinns förnybar energi (COLDREM, 2003). Av poppel (*Populus* spp.) eller salixarter (*Salix* spp.) kan inte bara bioenergi utvinnas utan även pappersmassa och olika träprodukter. Att använda planteringarna för dessa ändamål hjälper även till att minska trycket på skogsbruk och förbrukningen av naturresurser (Licht & Isebrands, 2005). Storskaliga fytoremedieringsprojekt där växterna sedan används för bioenergi kan ge stora ekologiska vinster i flera led. Vegetationen minskar först under reningsprocessen koldioxidhalter i luften och andra luftföroreningar genom fotosyntesen, vid avverkningen utvinns sedan bioenergi som då kan ersätta energikällor som olja som genererar koldioxidutsläpp (ibid).

Fytoremediering lämpar sig bäst till rening av större områden med lägre föroreningshalter (Marmioli & McCutcheon, 2003; COLDREM, 2003), detta för att behandlingstiden troligen skulle bli för lång vid sanering av områden med högre halter. Enligt COLDREM:s syntesrapport (2003) beräknas sanering med växter ta 5-20 år. Fytoremediering är därför ett bra alternativ för remediering av industritomter med en lägre föroreningsgrad (Glass, 2000). Fytoremediering har också möjligheten att kunna användas kombinerat med andra metoder, antingen på delar av saneringsområden där föroreningsgraden kanske är lägre och där

det finns utrymme för en längre behandlingstid (COLDREM, 2003) eller som putsning när de värsta föroreningarna har schaktats och deponerats. En sådan kombinerad remedieringsmetod kräver ett multidisciplinärt samarbete för att få ett så bra resultat som möjligt (Pilon-Smits, 2005).

#### *Ekosystemtjänster och sociala värden*

Då användningen av fytoremediering skapar nya gröna miljöer kan metoden indirekt ge flera ekosystemtjänster. En ökad andel grönområden hjälper till exempel till att minska koldioxidhalten, växthusgaser och luftburna föroreningar. Grönska har även en effekt på stadens mikroklimat på så vis att vegetation hjälper till att sänka stadens temperatur och minska värmeö-effekten. Andra ekosystemtjänster som det gröna i staden kan bidra med är dagvattenhantering och rening av avloppsvatten (Bolund & Hunhammar, 1999). Grönska ger även stora rekreativvärden och fytoremedieringsplanteringar kan därmed ge ökade värden till dem som bor och verkar i närområdet. Kontakt med naturliga miljöer, om så endast utblick mot dem, påverkar människans mentala trötthet och stressnivå positivt (Kaplan, 1995), vilket gör att de gröna platserna i staden därför har stor inverkan på människans mentala välmående (Ward Thompson, 2011). Ett fytoremedieringsprojekt kan även fylla ett pedagogiskt syfte genom att närboende, fastighetsägare eller andra medborgargrupper, till exempel skolklasser, kan få vara delaktiga i planterings- och skötselprocessen (You are the city, 2011). Att använda fytoremediering som saneringsmetod kan därför ha stora möjligheter att utvecklas till en spännande och estetiskt tilltalande metod som kan bidra med mereffekter till samhället.

#### FYTOREMEDIERINGENS UTMANINGAR OCH BEGRÄNSNINGAR

Användningen av växter för att rena jord har inte endast fördelar, metoden utgör även en del utmaningar och begränsningar. Fytoremedierings främsta nackdel kan anses vara den långa tid det kan ta att nå önskat resultat (t ex Marmioli & McCutcheon, 2003; Glass, 2000). Som nämnt i ovan avsnitt så beräknar COLDREM (2003) att rening åtminstone tar mellan 5-20 år. Slegers (2010) menar däremot att tiden kan vändas till en möjlighet genom att låta varje fas av reningsprocessen ha en

tydlig karaktär som också skapar en identitetskänsla till platsen medans reningen pågår samt genom att skapa ett ramverk till en framtida grön infrastruktur som ger upplevelsevärden till platsen (Sleegers, 2010).

Att ta försöken från laboratorierna och omvandla dem till lyckade fältförsök är den viktigaste utmaningen för att kunna utveckla tekniken vidare enligt Ilya Raskin och Burt D Ensley (2000).

Eftersom det är biologiskt material som används kan man aldrig säkerställa att platsen blir till 100 % fri från föroreningar. Det beror på enligt Glass (2000) att växtens förmåga att ta upp föroreningarna avtar i samband med att föroreningshalten minskar. Fytotoxicitet (se begreppsförklaring) kan också vara ett problem vid fyto Remediering. Om halterna av föroreningarna är för höga kan de bli giftiga mot växterna vilket innebär att växterna kan ha svårt att överleva (Marmioli & McCutcheon, 2003).

Saneringen kan också endast ske inom det rotdjup och det rotomfång som växten har vilket oftast begränsar reningen av föroreningarna till endast det översta jordlagret, ca 1 m (beroende på vilken typ av växt) (Glass, 2000; Pilon-Smits, 2005; Marmioli & McCutcheon, 2003). Växterna måste därför planteras där föroreningarna finns och det är också viktigt att växterna fungerar på just de föroreningarna som är förekommande på platsen (Pilon-Smits, 2005). Även Greger (2014) påpekar vikten av att känna till och veta vilka växter och processer som skulle fungera på platsen, för att kunna nå lyckade resultat. Det krävs också att föroreningarna är biotillgängliga (se begreppsförklaring) för att växterna ska kunna ta upp dem. Är bara en viss del av föroreningarna biotillgängliga så krävs en kompletterande saneringsmetod för att platsen ska nå den tillåtna nivån (Pilon-Smits, 2005). Många av de hyperackumulerande (se begreppsförklaring) växterna som har visat sig ha förmågan att kunna ta upp många föroreningar har däremot ofta en låg biomassa, vilket kan ge långa reningstider (Greger, 2014). Fyto Remediering är säsongsbetonad och är aktiv främst under växtperioden, en längre växtsäsong ger därför snabbare reningsresultat (EPA, 2000). Den svenska växtsäsongen är generellt kortare än på många ställen i USA där fältförsök

har gjorts, så tidsbehovet för att rena kan därför skilja sig. Växterna som används måste också vara härdiga på platsens geografiska läge och växtzon.

I de fall där föroreningarna tas upp av växtens blad och stjälkar blir själva växten giftig vilket kan utgöra ett hot mot djurlivet (Pilon-Smits, 2005). Hur påverkar det ekosystemet? Och vilka faror kan uppkomma som påverkar människors hälsa? Dessa frågor anser Jackson (2001) är viktiga att utreda och forska vidare kring. För vid en plantering skapas, även om det är planerat eller inte, en ny levnadsmiljö för till exempel mikroorganismer och insekter som kan ta sig vidare till omkringliggande grönområden. Det är därför viktigt att se platsen i ett större sammanhang (Jackson, 2001). För att så gott det går kunna skydda djur mot exponering av gifterna kan t ex. inhägnad, skyddsnät, oljud och fågelskrämma vara nödvändigt (Pilon-Smits, 2005). Inhägnad av platsen kan även behövas för att skydda människor från kontakt med föroreningarna, i dessa fall otillgängliggörs platserna för att kunna uppleva och vistas i.

En begränsning som fyto Remediering kan ha är också växternas utsatthet för skador orsakade av t ex torka, översvämning eller frostsador samt sjukdomar eller mänsklig förstörelse (Saier & Trevors, 2010).

Det kommersiella genomslaget av fyto Remediering som saneringsmetod kan anses begränsas av miljölagar och andra styrdokument som gynnar traditionella och konventionella tekniker framför nya innovativa tekniker som fyto Remediering (Marmioli & McCutcheon, 2003). Marmioli et al. (2006) listar några av orsakerna till varför fyto Remediering inte har slagit sig in på marknaden i Europa i lika stor utsträckning som i USA, och säger att:

- o Begränsad och dålig kunskapsspridning har gjort att det finns tvivel och begränsad acceptans i branschen.
- o De nuvarande lagarna och föreskrifterna som inte inkluderar fyto Remediering bland de i de idag förekommande teknikerna.
- o Svår konkurrens gentemot de standardiserade saneringsmetoderna som bevisligen är fungerande.

- o Inga tillräckliga investeringar för uppmuntran av privata initiativ.
- o Patenträttigheter, som kan hindra att tekniker som idag används framgångsrikt i USA inte kan appliceras i Europa. (Marmiroli et al., 2006)

## BESKRIVNING AV FYTOTEKNIKER

Växter har olika förmågor att ta upp, bryta ned, stabilisera eller på andra sätt hantera olika typer av föroreningar. Fytoremediering är därför uppdelat i många olika fytotekniker sorterade efter vilka biologiska processer som sker i växten vid möte med föroreningarna. Många växter har förmågan att simultant kunna hantera flera olika fytotekniker. Nedan kommer åtta fytotekniker vanligen nämnda i den inhämtade litteraturen att presenteras; fytoextraktion, rhizofiltrering, fytostabilisering, fytostimulering/rhizodegradering, fytodegradering, fytoavdunstning, fytotäckning och hydraulisk kontroll. Dessa beskrivs närmre för att skapa en vidare förståelse för hur fytoremediering fungerar, vilka föroreningar som kan renas och vilket typ av växtmaterial som kan användas. För en sammanfattning av alla presenterade fytotekniker, se bilaga 1 och för en sammanställning av det växtmaterial som finns att tillgå se bilaga 2.

## FYTOEXTRAKTION

### *Processen*

Fytoextraktion är processen som utnyttjar växters förmåga att ackumulera främst metaller från jorden via växtens rötter för att sedan transportera och koncentrera dem i dess ovanjordiska delar såsom blad och stjälkar (Raskin & Ensely, 2000). De giftiga metallerna ansamlas i växtvävnaden och måste sedan skördas och deponeras för farligt avfall för att metallerna ska avlägsnas från platsen (McCutcheon & Schnoor, 2003).

### *Vad kan renas och var?*

Fytoextraktion kan endast användas för rening av jord och då främst från metaller och halvmetaller men även radionuklider och till viss mån organiska föreningar som inte är så bundna i jorden (McCutcheon & Schnoor, 2003).

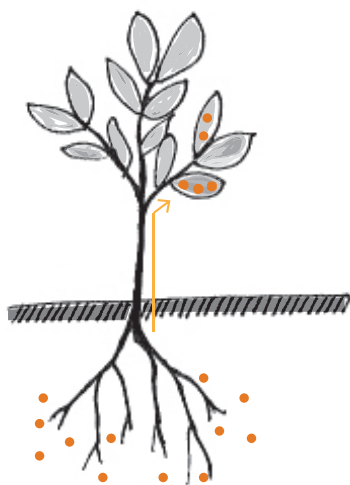
### Fördelar/nackdelar

Då miljöproblem knutna till metallförorening av mark förekommer i sådan stor utsträckning kan fytoextraktion av metaller ha stora möjligheter att genom att vara en kostnadseffektiv och skonsam metod också ge stora ekonomiska vinster (Raskin & Ensley, 2000). Skörden kan ske med etablerade jordbruksmetoder utan att förstöra den befintliga jorden vilket skulle ske vid konventionell sanering. Den skördade biomassan med halter av metaller kan återvinnas och de metallerna med ett ekonomiskt värde kan omhändertas. Den skördade biomassan kan även komposteras, kompakteras eller värmebehandlas för att minska dess volym eller vikt vid deponering för farligt avfall.

En nackdel med metoden kan till exempel vara att de hyperackumulerande växterna är långsamväxande, har låg biomassa och ytligt rotsystem (EPA, 2000).

### Viktigt att tänka på

För att fytoextraktion ska vara så effektivt som möjligt måste metallerna i marken vara tillgängliga för att kunna tas upp av växterna. Att förbättra jorden för att öka biotillgängligheten för metaller är därför viktigt för att en lyckad fytoextraktion ska vara möjlig (Salt et al., 1995).



Jordens pH är en annan faktor som kan avgöra om fytoextraktionen är effektiv eller inte (Salt et al., 1995). Fytoextraktion är dock begränsad till växtens rotzon, och rening sker därmed inte djupare än växtens rotdjup eller omfattning (EPA, 2000). Eftersom växterna kan innehålla giftiga halter av metaller är det viktigt att tillgängligheten för djur är begränsad. Även det skördade materialet måste kontrolleras och omhändertas på rätt sätt (EPA, 2000).

### Växter

Den ideala växten för att ta upp metaller genom fytoextraktion behöver först och främst vara tolerant mot en hög metallkoncentration i sin egen växtvävnad, sedan vara snabbväxande med en hög biomassadensitet. De överjordiska delarna av växten måste också kunna ackumulera metaller och vara lätt att skörda (Schwitzguébel et al., 2002; Salt et al., 1995). Hyperackumulerande växter har förmågan att ta upp stora mängder föroreningar, men dessa växter är generellt långsamväxande och har en låg biomassadensitet vilket betyder att reningsprocessen kan ta lång tid (EPA, 2000).

Frekvent använda och testade växter för fytoextraktion är sareptasenap (*Brassica juncea*) och solros (*Helianthus annuus*) på grund av att de är snabbväxande, har en hög biomassa och har en hög tolerans och ackumulering av metaller och andra oorganiska föroreningar (Pilon-Smits, 2005). Enligt en svensk studie har olika pilarter (*Salix* sp.) stor potential att fungera för fytoextraktion för områden förorenade med kadmium, zink och koppar då de har en hög ackumuleringsfaktor och snabbt kan transportera metaller till dess ovanjordiska delar. Pil har också en hög biomassa och ett ekonomiskt värde då de kan användas för bioenergi (Greger & Landberg, 1999).

Figur 3:2 Processen vid fytoextraktion. Föroreningarna tas upp via rötterna och ansamlas i växtens < ovanjordiska delar.

## RHIZOFILTRERING

### Processen

Rhizofiltrering används för att rena vatten från tungmetaller och andra föroreningar genom att växtens rötter absorberar och koncentrerar föroreningarna till följd av en biotisk eller abiotisk process i vattnet runt rotzonen (Ensley, 2000; EPA, 2000). Föroreningen tas antingen upp av växten, translokteras (transporteras inom en växt) eller koncentreras beroende på vilken förorening det gäller. Växterna bör likt som vid fytoextraktion skördas och deponeras för farligt avfall för att föroreningarna ska försvinna från platsen (EPA, 2000).

### Vad kan renas och var?

Rhizofiltrering är en process som kan användas för rening av metaller, radionuklider, organiska kemikalier, nitrat, ammonium, fosfat och patogener i våtmarker, avloppsvatten, lakvatten från deponier, ytvatten och pumpat grundvatten (McCutcheon & Schnoor, 2003).

### Fördelar/nackdelar

Metoden kan användas både *in situ* eller *ex situ*. Exempel på *ex situ* behandling är konstruerade vattensystem dit till exempel grundvatten pumpas (EPA, 2000).

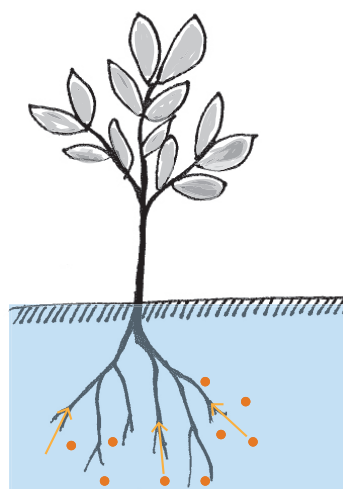
Rhizofiltrering är som mest effektivt och ekonomiskt gynnsamt vid områden med en stor volym vatten och en låg koncentration av föroreningar. Det gör rhizofiltrering lämpad för radioaktiva vattenområden (Salt et al., 1995). Rhizofiltrering är inte beroende av nederbörd då växterna får sitt vattenbehov från vattenområdet som renas (EPA, 2000).

### Viktigt att tänka på

Vattnets pH-värde måste justeras fortlöpande för att få optimalt metallupptag. Periodvis skörd av växterna behövs (EPA, 2000).

### Växter

Växter som lämpar sig väl till rhizofiltrering bör ha snabbväxande och utbredda rotsystem då reningen sker inom växtens rotzon. De bör också ha förmågan att över långa tidsperioder ta upp giftiga ämnen från markvatten (Salt et al., 1995). Då vattnet måste komma i kontakt med rötterna för att föroreningarna ska kunna tas upp bör vattnet kontinuerligt cirkuleras för att säkerställa att hela vattensamlingen blir renad. Både mark- och vattenlevande växter kan användas vid rhizofiltrering. Marklevande växter har ofta en högre kapacitet att ta upp föroreningar än de vattenlevande men behöver dock support av till exempel en flytande plattform (EPA, 2000).



Figur 3:3 Processen vid rhizofiltrering. Föroreningarna lösta i vatten absorberas, koncentreras eller tas upp av rötterna.



## FYTOSTABILISERING

*Processen*

Fytostabilisering handlar om att både motverka erosion och därmed utsläpp av föroreningar till närområden (McCutcheon & Schnoor, 2003) samt att stabilisera föroreningarna med hjälp av växternas rötter och på så vis göra dem mindre rörliga (Raskin & Ensley, 2000). Stabiliseringen sker genom mikrobiologiska processer i rotzonen (EPA, 2000). Områden som är förorenade av tungmetaller saknar oftast naturlig vegetation på grund av gifthalterna och är därmed också mer utsatta för erosion och läckage. För att motverka detta kan metalltåliga växter planteras för stabilisering (Salt et al., 1995).

*Vad kan renas och var?*

Fytostabilisering kan användas för att stabilisera metaller som arsenik, kadmium, krom, koppar, kvicksilver, bly och zink i marker, sediment och slam (EPA, 2000).

*Fördelar/nackdelar*

Återplantering av den förorenade platsen kan ha en restaurerande effekt på ekosystemet, men det är viktigt att undvika metallupptag i växternas ovanjordiska delar. Deponering av förorenat växtmaterial krävs därmed heller inte, vilket gör metoden lätthanterlig. Vegetationen kan dock kräva att jordförbättring sker för att de ska kunna etableras (EPA, 2000)

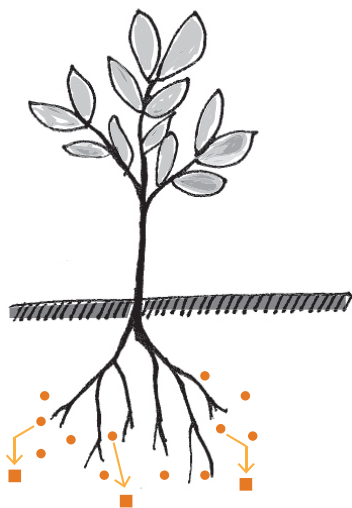
*Viktigt att tänka på*

Metoden lämnar kvar föroreningarna på platsen vilket kräver ett långsiktigt underhåll för att kontrollera att de inte utfälls eller läcker ut i omkringliggande natur (EPA, 2000).

*Växter*

En kombination av olika trädarter och gräsarter bildar tillsammans ett bra erosionsskydd. Träden låter vattnet röra sig uppåt genom dem och förhindrar därigenom läckage medan gräset förhindrar vinderosion och sidoavrinning med sitt täta rotsystem (Pilon-Smits, 2005).

Växter som är bra för fytostabilisering bör tolerera en hög halt av tungmetaller och kunna immobilisera dem i jorden via rotupptag, utfällning eller reduktion. De bör helst inte ta upp metallerna i för hög grad i skotten för att slippa att behandla de skördade växtdelarna som farligt avfall (Salt et al., 1995).



Figur 3:4 Processen vid fytostabilisering. Föroreningarna stabiliseras genom absorption och ackumulering av rötterna.

## FYTOSTIMULERING/RHIZODEGRADERING

*Processen*

Fytostimulering eller rhizodegradering som det också kallas bryter ned föroreningar i jorden genom att växten ökar bioaktiviteten i växtens rhizosfär (rotzonen) (EPA, 2000).

*Vad kan renas och var?*

Fytostimulering/rhizodegradering kan bryta ner organiska föroreningar som exempelvis olika PAH:er, TPH, klorerade lösningar, bekämpningsmedel och PCB:er i marker eller våtmarker (McCutcheon & Schnoor, 2003; EPA, 2000).

*Fördelar/nackdelar*

En fördel med metoden är att den bryter ned föroreningarna *in situ* och att växterna inte tar upp föroreningarna till växtvävnaden vilket gör att spridningen av dem minskar jämfört med andra fytotekniker. Föroreningarna kan även brytas ned till mineraler (EPA, 2000). Rotdjupet kan påverkas av markstrukturen och jordens förhållande (ibid).

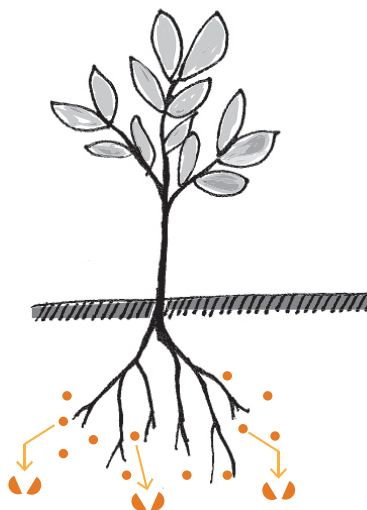
*Viktigt att tänka på*

Ett utbrett rotsystem skapar gynsamma förhållanden för mikrobiell aktivitet och är därför viktigt för fytostimulering (Pilon-Smits, 2005). Eftersom nedbrytningen sker i rhizosfären (vilket endast sträcker sig ca 1 mm runt roten (EPA, 2000)) måste föroreningarna finnas i närheten av eller på rötterna för att nedbrytningen ska kunna ske (McCutcheon & Schnoor, 2003). Till en början när

rotsystemet inte är så utvecklat når nedbrytningen endast en liten andel av den förorenade jordens volym. Med tiden kan rotsystemet dock breda ut sig och täcka upp stora delar av jordens volym. Nedbrytning kan även i vissa fall ske något djupare än vad rotsystemet når och då även nå grundvattnet (EPA, 2000). Det tar dock oftast lång tid för växterna att utveckla ett utbrett rotsystem.

*Växter*

Växter som producerar utsöndringar som stimulerar tillväxten av degraderande mikroorganismer lämpar sig bäst till fytostimulering. Vilken typ av, hur mycket och vilken effekt som utsöndringarna och enzymerna som produceras av växtens rotsystem har, varierar mellan olika arter men även mellan underarter och sorter (EPA, 2000). Präriegräs har visat sig lämpliga för fytostimulering, mycket på grund utav deras djupa, täta och utbredda rotsystem (McCutcheon & Schnoor, 2003).



Figur 3:5 Processen vid fytostimulering/rhizodegradering. Föroreningarna bryts ner med hjälp av en ökad mikrobiell aktivitet i rhizosfären.

## FYTODEGRADERING

*Processen*

Fytodegradering är en process där främst organiska föroreningar tas upp av växten och bryts ned i dess ovanjordiska delar. Nedbrytningen sker med hjälp av växtens metabolism alternativt bryts ned utanför växten med hjälp av enzymer producerade av växten (EPA, 2000). Föroreningarna omvandlas genom den här processen till mindre farliga biprodukter (McCutcheon & Schnoor, 2003).

*Vad kan renas och var?*

Fytodegradering kan användas för att bryta ner organiska föroreningar som klorerade lösningar, fenoler och bekämpningsmedel i mark, sediment, våtmarker, avloppsvatten, ytvatten, grundvatten och i luften (McCutcheon & Schnoor, 2003).

*Fördelar/nackdelar*

Rening med fytodegradering är begränsad till växtens rhizosfär och är därför mest lämplig att använda på områden med ytligare föroreningar (EPA, 2000).

Fytodegradering kan på grund av de nedbrytande enzymerna producerade av växten själv, bryta ned föroreningar på områden där mikroorganismer inte kan överleva på grund av för höga giftnivåer (ibid). Att fytodegradering fungerar både i mark och i vatten är en fördel.

*Viktigt att tänka på*

Upptaget av organiska föreningar i växten kan påverkas av föroreningens ålder och jordförhållanden (EPA, 2000).

*Växter*

Växtegenskaper önskvärda för fytodegradering är stora, kompakta rotsystem och höga halter av nedbrytande av enzymer (Pilon-Smits, 2005).



Figur 3:6 Processen vid fytodegradering. Växterna tar upp föroreningarna till växtvävnaden där de bryts ner till mindre farliga biprodukter.



## FYTOAVDUNSTNING

### Processen

Fytoavdunstning sker när vissa metaller eller organiska föreningar tas upp i växten för att sedan frigöras i form av gas till atmosfären (Pilon-Smits, 2005). Fytoavdunstning och fytodegradering är fytotekniker som är relaterade till varandra och kan ske parallellt (EPA, 2000).

### Vad kan renas och var?

Kvicksilver, arsenik och selen och även klorerade lösningsmedel kan renas från marker, slam, våtmarker och grundvatten med denna metod (McCutcheon & Schnoor, 2003).

### Fördelar/nackdelar

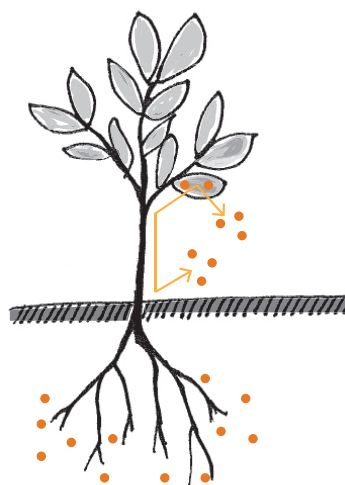
Eftersom föroreningarna förvandlas till gas och försvinner helt från växten utan att man behöver skörda eller deponera växterna någon annanstans är det en attraktiv metod. Gasen som avdunstar genom växten skulle kunna anses vara en risk men tester har visat att selen och kvicksilver skingrades så pass att de inte utgjorde något hot för människor och djur (Pilon-Smits, 2005).

### Viktigt att tänka på

Klimatförhållanden så som temperatur, nederbörd, luftfuktighet, solinstrålning, vindhastighet kan påverka transpirationshastigheter (EPA, 2000).

### Växter

Poppel har till exempel visat sig transformera vissa organiska föreningar.



Figur 3:7 Processen vid fytoavdunstning. Föroreningarna tas upp i växten för att sedan frigöras i form av gas till atmosfären. >

## FYTOTÄCKNING

### Processen

Fytotäckning är principen som handlar om att använda växter som marktäckare för att skapa en barriär och isolera de föroreningar som utgör en miljörisk på området. Fytotäckning kan delas in i två olika typer, evapotranspirationstäckning och fytoremedieringstäckning. Evapotranspirationstäckning är en täckningsmetod där jordlagret och växterna utgör ett tillräckligt tjockt lager för att hålla kvar infiltrationen av vatten tills det kan avgå genom evaporation och transpiration. Fytoremedieringstäckning är uppbyggt av samma princip men kan även ha en sanerande effekt då växter väljs vars rötter når ner till avfallet och då kan bryta ned de underliggande föroreningarna. De båda fytotäckningsmetodernas viktigaste uppgift är att isolera det underliggande avfallet för att minska risken för människor och djur att komma i kontakt med det och för att undvika läckage från platsen (EPA, 2000).

### Vad kan renas och var?

Fytotäckning kan användas vid både organiska och oorganiska föroreningar, men för fytoremedieringstäckning är organiska föroreningar att föredra då dessa kan brytas ned i rhizodegradering, fytodegradering eller fytoavdunstningsprocesser. Fytotäckning kan användas för filterering av ytvatten, men även för täckning av mark, slam och sediment (EPA, 2000).

### Fördelar/nackdelar

Principen är ett långsiktigt, självgående system som inte kräver mycket skötsel (EPA, 2000).

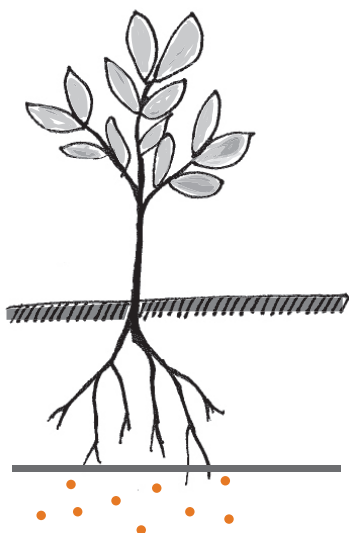
För evapotranspirationstäckning är rotdjupet inte av någon vikt eftersom processerna för evaporation, transpiration och magasinering sker ovanför avfallet. För fytoremedieringstäckning är processen begränsad till växtens rotdjup (ibid).

### Viktigt att tänka på

Jorden bör vara en jord som har hög vattenhållande kapacitet, som till exempel lera och silt. Grovkorniga jordar som snabbt dräneras kräver mer avancerade lösningar för att täckningen ska fungera (EPA, 2000).

### Växter

Poppel och olika gräsarter har använts för lyckade fytotäckningar. För evapotranspirationstäckning kan i princip vilka växter som helst väljas då de inte kommer i kontakt med avfallet (EPA, 2000).



Figur 3:8 Processen vid fytotäckning. Växterna används som marktäckare för att skapa en barriär och isolera föroreningarna.

## HYDRAULISK KONTROLL

### Processen

Hydraulisk kontroll innebär att växter används för att förhindra och kontrollera föroreningar att migrera till vattendrag eller liknande genom att växten tar upp och konsumerar grundvatten (EPA, 2000).

### Vad kan renas och var?

Växterna kan ta upp vattenlösliga organiska och oorganiska föroreningar från grundvatten, våtmarker och dagvatten (McCutcheon & Schnoor, 2003).

### Fördelar/nackdelar

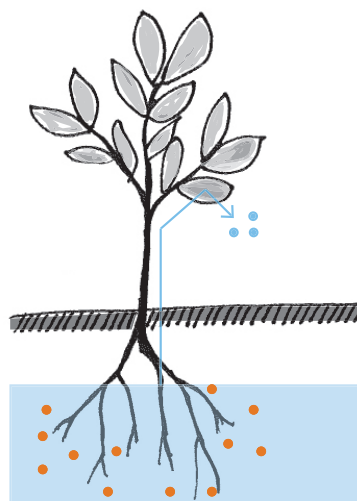
Hydraulisk kontroll är beroende av växtens vattenupptag och påverkas därför av både klimatet och säsongen. Under vinterhalvåret minskar upptaget av vatten för lövfällande träd och därmed den kontrollerande förmågan, även mängden nederbörd, temperatur och vind påverkar växtens transpiration (EPA, 2000). Plantering av träd för hydraulisk kontroll är en mer ytkrävande metod än att använda ett pumpsystem (ibid).

### Viktigt att tänka på

Det som främst behöver beaktas vid valet att använda hydraulisk kontroll är vilket djup och koncentration som föroreningarna finns i. Även jordens struktur och mättnadsgrad är en betydande faktor (EPA, 2000).

### Växter

Hybrid poppelarter har snabbväxande och utbredda rotsystem och kan transpirera stora mängder vatten och fungerar därför bra vid användning av hydraulisk kontroll (EPA, 2000). Storleken på växten påverkar såklart mängden vatten den kan ta upp, vilket betyder att träd är att föredra framför örtartade växter.



Figur 3:9 Processen vid hydraulisk kontroll. Genom konsumtion av grundvatten kan växterna förhindra och kontrollera föroreningar att migrera till vattendrag eller liknande. >

## SAMMANFATTNING AV FÖRDELAR OCH NACKDELAR MED FYTOREMEDIERING

### FÖRDELAR

- Metoden utförs in-situ och schaktning undviks därmed
- Låg kapital- och utförande kostnad
- Upptagen metall kan återvinnas (phyto-mining) och ge ekonomiska fördelar
- Växternas biomassa kan användas för bioenergi
- Metoden fungerar på många olika föroreningar
- Ekologiskt hållbar
- Kan kombineras med andra saneringsmetoder
- Kan generera ekosystemtjänster i staden
- Kan generera till rekreativsvärden
- Estetiskt tilltalande
- Kan användas i pedagogiskt syfte

### NACKDELAR

- Långsam reningsmetod jämfört med andra metoder
- Biologiska metoder är inte kapabla att rena marken till 100%
- En för hög metallkoncentration kan bli giftiga för växterna (fytotoxiska)
- Endast applicerbar inom växternas rotdjup
- Hyperackumulerande växter är långsamväxande
- Säsongsberoende
- Kan ha svårigheter att rena en komplex föroreningssituation
- Möjlig negativ inverkan på ekosystem och människors hälsa
- Växter är känsliga för utomstående påverkan vilket kan påverka metodens effektivitet
- Okunskap och dålig kännedom kring metoden
- Brist på fältförsök i Sverige
- Skörd och omhändertagandet av det förorenade växtmaterialet

Tabell 3:1 Sammanställning av för- och nackdelar med fyto Remediering.





## DEL 4.

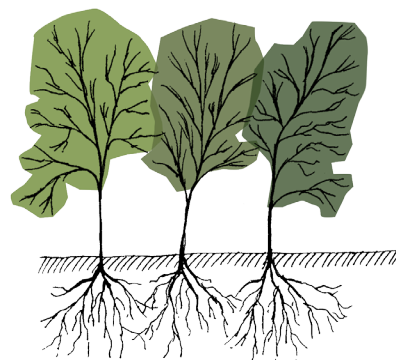
### FYTOREMEDIERING, DESIGN OCH REKREATION

---

#### INLEDNING

Förra delen behandlade bland annat fytoremedieringens biologiska processer och vad som sker under mark. Denna del kommer istället att behandla de ovanjordiska aspekterna av fytoremedieringens växtlighet kopplat till design och rekreation. Att använda växter för att sanera förorenad mark i en postindustriell kontext ger möjligheter att även skapa andra värden på platsen. Därför vill jag genom denna del skapa en grund och förståelse kring de aspekter som kan anses vara landskapsarkitektens roll att ha kunskap kring vid en tillämpning av denna metod. Det finns inte mycket litteratur kring just landskapsarkitekten och fytoremediering och koppling däremellan är ofta vag som även Falk och Ronnheden (2010) nämner i sitt examensarbete *Succession – Landskapsarkitekten och fytoremediering*. Följande avsnitt börjar med en introduktion till det "nya vilda" som syftar till spontan vegetation i postindustriella miljöer och ett nytt gestaltungsideal med det oordnade och det vilda i fokus. Efter det presenteras de

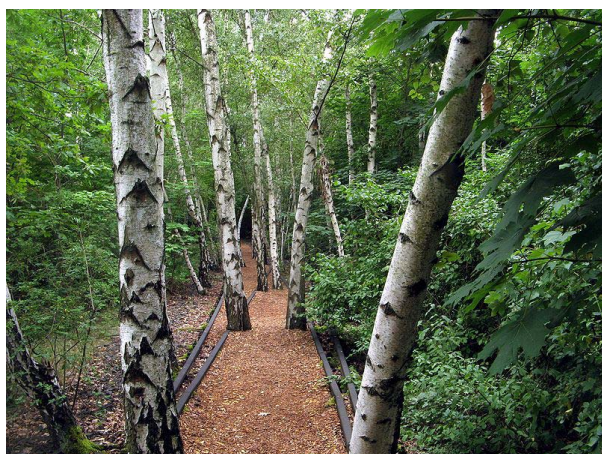
funna kopplingarna mellan fytoremediering, landskapsarkitektur och design, som följs av ett kort avsnitt om fytoremediering och dess potential att bidra med rekreativvärden till reningsplatsen.



Figur 4:1 Fytoremedieringens processer ovan mark.

## DET "NYA VILDA" I POSTINDUSTRIELLA MILJÖER

Att vegetation tar över när människan lämnar industrier eller andra verksamhetsområden i städer är vanligt. Naturens kraft att invadera och till och med förstöra mänskliga konstruktioner för att kolonisera dessa ogästvänliga habitat tycks vara fascinerande för människan (Jorgensen, 2004). Men den förvildade vegetationen kan även av allmänheten uppfattas som ogräs och därmed ge platsen en känsla av att vara eftersatt vilket i sin tur kan inge otrygghet. Dessa spontana biotoper på övergiven industrimark kan dock under tid utvecklas till komplexa och rika habitat (Kingsbury, 2004). I Tyskland har denna typ av spontan vegetation blivit kallad "industrinatur" och till och med blivit klassad som värd att bevara på grund av sin speciella karaktär (Jorgensen, 2004).



Figur 4:2 Natur-Park Südgelände, Berlin



Figur 4:3 The High Line Park, New York

Eftersom stadslandskapet ofta har en tuffare ståndort som dessa växter verkar trivas i skulle denna typ av vegetation kunna få en plats i det nya postindustriella urbana formspråket (Kingsbury, 2004). Noel Kingsbury, som är författare och forskare inom hållbar och naturalistisk växtdesign (2004), anser att det finns två sätt att använda sig av den spontana postindustriella vegetationen; antingen genom att försöka styra det som växer upp naturligt till att bli än mer funktionellt och estetiskt tilltalande, eller genom att helt enkelt lära sig från dessa naturliga habitat för att sedan imitera och skapa attraktiva och robusta miljöer i urbana landskap (Kingsbury, 2004). Dan Hallemar skriver i artikeln *In i det vilda* från tidskriften Arkitektur (2009) om hur tendenser i landskaps- och stadsbyggnadsprojekt mer och mer har en önskan om att få in naturen i staden och att gestalta det oordnade och vilda, vilket kan ge antydningar om att ett mer 'naturligt' formspråk eftersträvas alltmer.

Ett exempel på utnyttjandet av den spontana vegetationen och den naturliga successionen är Natur-Park Südgelände, järnvägsparken nära Tempelhof station i Berlin (Kingsbury, 2004). De övergivna järnvägsspåren har sedan 1952 då de ödelades blivit övervuxna av vegetation och ett rikt växt- och djurliv har skapats på platsen. 1995 beslutades det att platsen skulle öppnas för allmänheten och bli en park. Genom skötsel kan de olika successionsstadierna som finns att uppleva på platsen behållas och ge platsen ännu högre estetiska och ekologiska värden (Kingsbury, 2004). (se figur 4:2).

Ett annat exempel är the High Line Park i New York. De övergivna upphöjda järnvägsspåren hade sedan de lämnats blivit övervuxna av spontan vegetation. När det beslutades om att spåren skulle öppnas upp för allmänheten var den befintliga vegetationen dock tvungen att tas bort för att kunna omkonstruera markbeläggningen och därmed göra platsen tillgänglig. Istället har man försökt att återskapa och imitera den spontana vegetationen som gav platsen dess unika vilda karaktär (Lauer, 2014). Genom att återskapa känslan som den spontana vegetationen hade gett till platsen, är the High Line Park ett exempel på hur en ny typ av park



inspirerad av de till synes enklaste växterna som till och med kan kallas ogräs, växt fram (Lauer, 2014). (se figur 4:3).

Då båda dessa exempel är mycket populära och uppskattade besöksmål visar de på att det mer naturliga uttrycket av natur och vildhet i stadslandskapet börjar bli allmänt uppskattat och accepterat.

## FYTOREMEDIERING OCH LANDSKAPSARKITEKTUR

Christina Pilz (2001) påpekar att fyto Remediering är ett relativt nytt ämne för landskapsarkitekter då denna yrkesgrupp inte i någon stor utsträckning har behövt hantera förorenade områden tidigare. Därför är det inte så konstigt att det inte finns så mycket skrivet om just fyto Remedieringen kopplat till landskapsarkitekturen. Men med den mängd förorenade områden som nu exploateras i centrala delar av städer har läget däremot förändrats och användandet av växter för att sanera föroreningarna gör det än mer relevant för en involvering av landskapsarkitekter i denna process (Pilz, 2001).

Design som involverar fyto Remediering kan bli väldigt komplicerad poängterar Pilz (2001) i sitt examensarbete där hon undersöker hur fyto Remediering kan integreras i designprocessen inom landskapsarkitektur, eftersom det kombinerar två olika tankesätt: analytisk användning av vetenskap och kreativt utforskande. Hur dagens forskning och tekniker kan bidra till en mer kreativ landskapsdesign, men även vad landskapsdesignen kan bidra med i detta arbetsfält är frågor som ligger till grund för tidigare nämnd bok; *Manufactured Sites: Rethinking the Postindustrial Landscape* (Kirkwood, 2001) och är centrala för en utveckling av fyto Remediering inom landskapsarkitekturen. Wilschut och Theuws med flera (2013) beskriver hur landskapsdesignen fick bli deras arbetssätt för att omvandla forskningen kring fyto Remediering till en fysisk gestaltning och ville genom detta visa på länken mellan vetenskap och praktik. Genom att använda sig av 'forskning genom design' som metod kunde de koppla resultaten från sin litteraturstudie kring fyto Remediering till en fysisk struktur för

omvandlandet av ett hamnområde i Amsterdam (Wilschut et al., 2013). I ett fyto Remedieringsprojekt måste det vetenskapliga vara av första prioritet, eftersom det annars kan få följder för människors hälsa och miljön (Pilz, 2001). Evidensbaserad design är en annan metod som därför kan vara viktig i ett fyto Remedieringsprojekt. Genom att låta forskning stå till grund för designbesluten, ger det även en större tyngd till landskapsarkitekturen i allmänhet (Brown & Corry, 2011). Landskapsarkitekturen kan med både sitt holistiska och praktiska förhållningsätt tillföra både estetiska och sociala värden till omvandlandet av postindustriella miljöer (Wilschut et al., 2013). Rollen som landskapsarkitektet borde därför fungera som en aktiv länk mellan vetenskapen och praktiken, genom att omvandla tvärvetenskaplig forskning till skapandet av nya urbana miljöer (Wilschut et al., 2013). Fyto Remediering erbjuder en utmärkt möjlighet för biologer, ingenjörer och landskapsarkitekter att arbeta tillsammans (Jackson, 2001).

Även Kirkwood (2001) beskriver integrerandet av saneringsprocessen med landskapsdesign som en av möjligheterna med omvandlingen av postindustriella områden. Kirkwood beskriver ett hypotetiskt exempel på en tillfällig användning av ett postindustriellt område där en park skapas i väntan på den slutliga förvandlingen. Platsen planteras geometriskt med poppelträd som på ett naturligt sätt ska ta upp föroreningar från grundvattnet för att hindra att dessa sprids från platsen. Platser där föroreningsgraden är högre, så kallade "hot spots", är inhägnade och behandlas med en tät plantering av träd och höga gräs, medan större utjämnade områden innehåller sportfält, öppna gräsytor och gångstigar. Detta angreppssätt till saneringsprocessen skapar en fysisk struktur på platsen med ett ramverk av vegetation som kan kombineras med en framtida utvecklingsplan där byggnadsstrukturer, vägar och öppna ytor finns med. Alternativt kan en mer flexibel design av platsen skapas för att kunna hålla framtida planer öppna (Kirkwood, 2001).

Wilschut och Theuws (2013) har som jag tidigare nämnt gjort ett förslag till hur omvandlingen av ett hamnområde i Amsterdam, Buiksloterham, kan ske med fyto Remediering som drivkraft och genom

förslag på tillfällig markanvändning. De ville i sin studie utforska hur fytoremedieringstekniker kan introduceras till omvandlingsprocessen av platsen och hur denna teknik kan kombineras med biomassaproduktion och skapandet av (tillfälliga) produktiva och attraktiva offentliga rum (Wilschut et al., 2013). I deras designförslag är kunskapen om fytoremediering, den specifika platskaraktären och framtida utvecklingsplaner kreativt integrerade. I deras förslag har de använt en strategi där de delat in området efter tre olika grader av förorening: rena områden, där full tillgänglighet tillåts; något förorenade områden, där en begränsad eller kontrollerad tillgänglighet ges; och mycket förorenade områden, som är avstängda för vistelse. Genom denna strategi vill de skapa ett ramverk och struktur för framtida exploateringsplaner (Wilschut et al., 2013).

Deras motivation till att använda fytoremediering är bland annat att genom att kombinera fytoremedieringsväxter i en estetiskt tilltalande komposition kan även de ekologiska och rumsliga kvaliteterna öka i området. De menar att det är viktigt att tänka på både växternas botaniska och fysiska karaktärer, då blomningsperioder och växthöjder kan hjälpa till att skapa en komposition

som både är estetisk och funktionell. Istället för att skapa traditionella parkområden i området, görs parkerna produktiva med biomassaproduktion. Genom att skapa en mix av fytoremedieringsväxter med en karaktär av kultiverad vildhet, kan en unik identitet till parkerna och området i helhet skapas (se figur 4:4). Tillgängligheten till dessa platser ges genom ett upphöjt gångsystem, men gradvis som marken renas kan parken även bli än mer tillgänglig (Wilschut et al., 2013).

#### *Rekreation och fytoremediering*

Stadens grönska är en viktig tillgång för invånarnas både mentala och fysiska välbefinnande (Ward Thompson, 2011). Då fytoremediering kan bidra till att öka antalet grönområden i staden är det därför relevant att sätta fytoremediering i relation till rekreation. Då många av de förorenade områdena återfinns i större industrilandskap som ofta har en brist på grönyta, skulle fytoremediering kunna stärka områdets attraktion och även bidra med ökade rekreativsmöjligheter (Westphal & Isebrands, 2001).



Figur 4:4 Wilschut och Theuws förslag för användandet av fytoremediering i omvandlingsprocessen för hamnområdet Buiksloterham i Amsterdam.

I föregående avsnitt om fyto Remediering och landskapsarkitektur blev det tydligt att både Kirkwood (2001) och Wilschut et al. (2013) anser att fyto Remediering har potential att användas som princip vid anläggandet av en tillfällig och flexibel park för rekreation i övergångsperioden för ett postindustriellt område. Genom att skapa attraktiva och inbjudande gröna landskap kan dessa locka till utforskande och fysisk aktivitet (Westphal & Isebrands, 2001). Det som däremot skiljer ett grönområde planerat för att rena marken med vanliga grönområden är dels att det möjligen endast blir en tillfällig grönyta men också att växtvalet är mer begränsat. Förorenade områden där växter planteras för att rena marken kan vara i olika skalor och finnas i olika typer av kontexter vilket betyder att de olika områdena kan utformas med olika funktioner, men även att varje område har sina speciella förutsättningar för att faktiskt ha en möjlighet att fungera rekreativt. I de fall då föroreningsgraden är så pass hög att vistelse på platsen måste förbjudas, kan ändå grönskan ge en effekt till förbipasserande, boende eller arbetare i området, och höja värdet på fastigheter i området (Westphal & Isebrands, 2001).

Att tänka i en större kontext vid planerandet av ett fyto Remedieringsområde och se platsen i relation till den större landskapsbilden kan ge möjlighet att kunna koppla ihop det nya grönområdet med det befintliga gröna nätverket i staden (Sleegers, 2010). En sammankoppling av grönområden till gröna stråk ger förbättrade möjligheter till vardagliga aktiviteter som att gå och cykla då tillgängligheten stärks (Malmö Stad, 2003). En grön struktur kan även påverka karaktären på staden eller bostadsområdena positivt (Nielsen & Hansen, 2007).

## SAMMANFATTNING

Det "nya vilda" med spontan vegetation kan anses vara ett nytt designideal för postindustriella kontexter där naturen möter industrin/kulturen. Fyto Remediering kan med de växter som finns att tillgå, som ofta har en mer "vildare" karaktär än de växtersom används i det formella landskapet/parken, utgöra en del i detta. Att landskapsarkitekturen mer och mer är involverade i omvandlingen av postindustriella områden gör att fyto Remediering också kan ges en större roll i omvandlingsprocessen. Landskapsarkitekturen kan bidra till att metoden kan bli allmänt accepterad genom att kunna visa på de mervärden som fyto Remediering kan ge till platsen samt att vara länken mellan vetenskap och praktik. Att design kopplas till fyto Remediering gör det till en mer attraktiv metod. Grönska är viktigt i staden för invånarnas mentala och fysiska välbefinnande. Fyto Remediering kan genom att öka antalet grönområden på så vis bidra med ökade rekreativsmöjligheter men även öka de ekologiska och rumsliga kvaliteterna i området.



## DEL 5.

### ATT TILLÄMPA FYTOREMEDIERING

---

För att skapa en bredare kunskap kring hur fyto Remediering fungerar som saneringsmetod samt få en större förståelse för dess möjligheter och utmaningar kommer denna del att ge en översiktlig beskrivning av hur ett fyto Remedieringsprojekt kan gå till från start till mål. Kunskap kring tillämpningsprocessen för metoden behövs för att kunna utvärdera om fyto Remediering är en lämplig saneringsmetod i en specifik kontext och för att metoden ska kunna få en bredare acceptans som saneringsmetod.

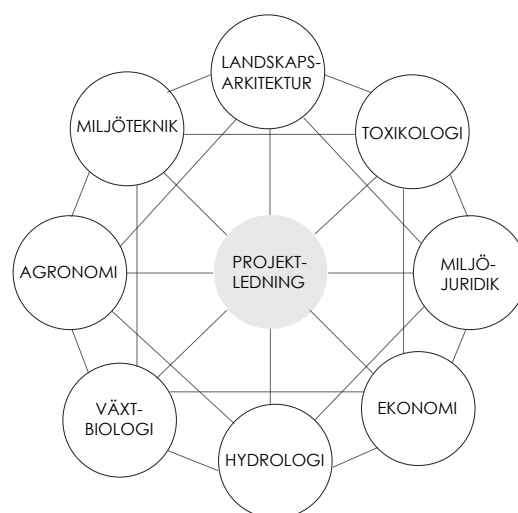
För att nå önskade saneringsresultat är det viktigt att noggrann planering genomförs innan uppstart av ett fyto Remedieringsprojekt. Jag har därför identifierat sex steg för tillämpningsprocessen utifrån skriften *Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees* (ITRC, 2009) från the Interstate Technology & Regulatory Council i USA, som är ett offentligt-privat samarbete inom miljöteknik. *Introduction to Phytoremediation* (EPA, 2000) från U.S. Environmental Protection Agency har också

varit en viktig källa för utarbetandet av de sex stegen. De sex stegen tar upp de viktigaste aspekterna att tänka på vid genomförandet av fyto Remediering. De olika stegen, som även figur 5:2 på nästa sida visar, är 1. *Inventering och analys*; 2. *Val av metod*; 3. *Design*; 4. *Implementering*; 5. *Under reningsprocessen* och 6. *Avslut*. Dessa steg eller etapper syftar till att ge en översiktlig idé kring vilka moment som är viktiga att ta hänsyn till vid val av Remedieringsmetod och vad som krävs för att få en lyckad reningsprocess. Detta avsnitt ger endast en kortfattad bild av processen för ett fyto Remedieringsprojekt och är endast tänkt att ge en snabb uppfattning kring vilka moment och resurser som krävs.

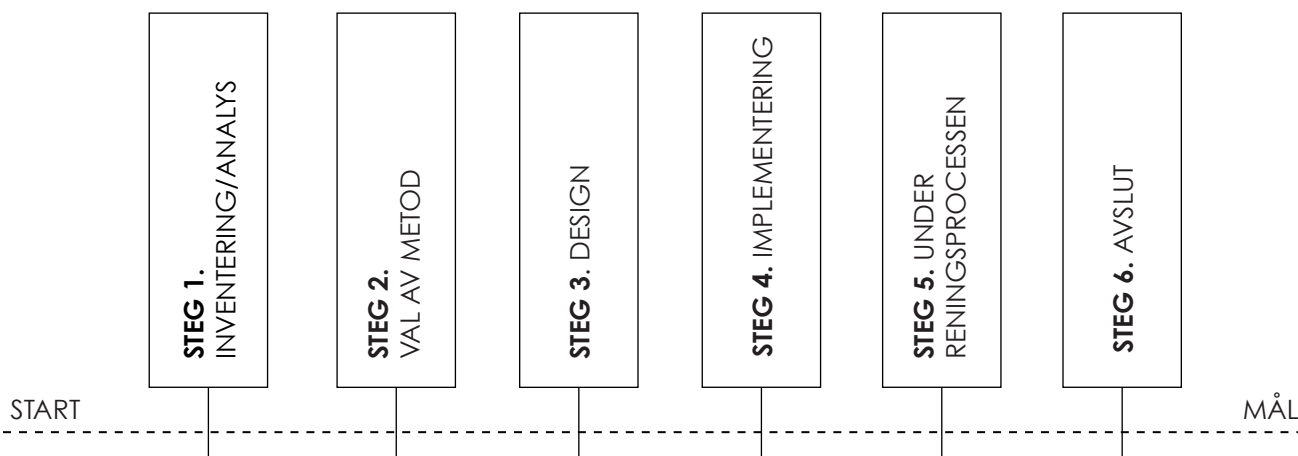
Fokus i de sex stegen är på marksanering. Hur rening av vatten eller våtmarker kan gå till väga är inte specifikt inkluderat, även om många av de nämnda momenten skulle vara viktiga även i en sådan process. Kompletterande information är viktig för att kunna göra en så korrekt tillämpning som möjligt. Alla platser har sina unika utgångslägen

och förutsättningar som måste fungera som utgångspunkt.

I ett fyto Remedieringsprojekt krävs att flera olika yrkesområden som kan tillföra kompetens till de olika momenten är involverade för att genom ett multidisciplinärt samarbete kunna göra en lyckad tillämpning av fyto Remediering (se figur 5:1). Landskapsarkitekten kan tillföra kunskap inom flera av dessa områden, såsom hydrologi, växtbiologi, miljöteknik och gestaltning. Landskapsarkitekten kan därför hamna i en projektledarssituation som för projektet framåt genom att sammanföra alla dessa delar.



Figur 5:1 Visar de olika yrkesområdena som kan tillföra kompetens till de olika momenten under reningsprocessen.



Figur 5:2 De steg stegen för tillämpning av fyto Remediering.



## STEG 1. INVENTERING OCH ANALYS

En inventering och analys av den valda platsen är det första steget för att undersöka genomförbarheten av fyto Remediering. Inventeringens och analysens syfte är att undersöka vilka föroreningar det finns på platsen, vilken nivå de existerar i, dess spridning och hur de rör sig, men även vilka risker det kan finnas för människor och miljön (ITRC, 2009). Nedan är de viktigaste punkterna att undersöka listade.

### Föroreningar

Noggranna provtagningar av vilka föroreningar som finns på platsen är viktigt för att kunna utvärdera vilka fyto Remedieringsmetoder och/eller andra saneringsmetoder som kan användas på platsen.

- o Vilka föroreningar finns på platsen? – *Tungmetaller? Organiska föreningar?*
- o I vilken koncentration och föroreningsnivå finns dem? Vilken riskklassering har området? – *Fyto Remediering är mest lämpad till stora områden där föroreningsnivån är låg till medium och där det skulle vara väldigt kostsamt att använda vanliga saneringsmetoder (EPA, 2000). Är föroreningsnivån klassad till hög kan det innebära att de blir fytotoxiska och därmed vara till skada för växten.*
- o Hur ser spridningen av föroreningarna på platsen ut? – *Spridningen av föroreningarna är i många fall inte jämnt fördelade på platsen och på vissa platser kan 'hot spots' förekomma där koncentrationen av föroreningarna är högre och kanske fytotoxiska. Dessa ytor kan vara effektivare att sanera med konventionella metoder (EPA, 2000).*
- o På vilket djup kan föroreningarna hittas? – *Föroreningarna måste i de flesta fall finnas inom rot djupet på de använda växterna för att växterna ska kunna påverka dem (EPA, 2000).*

### Jordens egenskaper

Tillståndet på jorden på platsen har stor påverkan på hur fyto Remedieringen kommer att fungera. Många förorenade platser är gamla industriområden som ofta är uppbyggda på fyllnadsmaterial, har svårt kompakterad mark eller har jordar med lågt

näringsinnehåll. Detta kan göra det svårt för växter att trivas och därmed fungera renande, vilket innebär att jordförbättring kan vara en förutsättning för att få en lyckad reningsprocess (ITRC, 2009). Nedan är egenskaper listade att undersöka och analysera.

- o Jordens struktur – *Hur ser jordens struktur ut? Är den kompakterad och behöver luckras upp?*
- o Jordart – *Vad är det för jordart på platsen? Jordarten påverkar jordens fukthållande egenskap och dräneringsförmåga. Vilka växter trivs i den befintliga jordarten?*
- o pH-halt – *Måste vara inom sådana gränser att växter kan klara av förhållandena. Kan justeras vid behov.*
- o Bördighet och näringsinnehåll – *Har jorden tillräckliga näringsvärden för tänkt växtmaterial?*
- o Salthalt – *Vilken nivå ligger salthalten på? Tål växter nivån?*
- o Vatteninnehåll – *Är det en torr eller fuktig plats?*
- o Luftfylld porositet – *Hur ser lufttillförseln ut i jorden?*
- o Fritt jorddjup – *Vad är det för avstånd till berggrund eller annat rotstopp? (EPA, 2000)*

Dessa punkter är alla viktiga för att undersöka jordens tillstånd och möjligheten att plantera växter som kan trivas och växa på platsen. Jordens egenskaper påverkar därför valet av växtmaterial.

### Klimatförhållanden

Klimatet, både mikro- och makroklimatet, på platsen där sanering är planerad är självklart viktigt att ta hänsyn till då klimatet har stor inverkan på växters möjlighet att växa och därmed att ta upp föroreningar. (EPA, 2000).

- o Temperatur – *Vad har området för medeltemperatur? Vilka extremer kan förekomma? Dessa är aspekter som påverkar växters möjlighet att växa (EPA, 2000).*
- o Nederbörd – *Vilken är den förväntade nederbördsmängden? Nederbörden påverkar tiden för jordförberedelsen, tid för plantering och behovet av bevattning (EPA, 2000).*
- o Vind – *Vilka vindhastigheter är vanliga*



*på platsen? I vilken riktning blåser det som vanligast? Vinden påverkar avdunstningen från växterna, kan skada växtmaterialet och kan sprida farliga ämnen och växtrester. Vindskydd kan därför behövas på platsen (EPA, 2000).*

- o *Solljus och skugga – Hur mycket sol når platsen? Blir den skuggad av intilliggande byggnader eller annan vegetation? Mängden sol påverkar växtligheten och därmed upptaget av föroreningar (EPA, 2000).*
- o *Växtzon och längd på växtsäsong – Platsens geografiska läge påverkar såklart de ovanstående förhållanden men också längden på växtsäsongen och därmed den tid som fyto Remediering kan pågå under ett år (EPA, 2000). Växtzonen är därför viktig att ta hänsyn till vid tidsberäkningen av saneringen då det är mer gynnsamt för sanering med fyto Remediering ju längre växtsäsongen är. (EPA, 2000)*

#### Beskrivning av platsen

Som grund till utformningen av platsen är plastens fysiska karaktär viktig att inventera och analysera. Även den större kontexten är viktig att inkludera i en analys och inventering.

- o *Rumslig analys – Hur ser platsen ut? Hur stort område ska planteras? Befintlig bebyggelse?*
- o *Befintlig vegetation – Identifiering av eventuell befintlig vegetation kan ge en vägledning till vilka växter som kan trivas på platsen. Den befintliga vegetationen kan också ge en vägledning till designen och implementeringen av fyto Remedieringssystemet (ITRC, 1999).*
- o *Hinder på platsen – Små byggnader, fundament, belagda ytor, nedgrävda ledningar m.m. Ytan kan behövas göra tillgänglig för att kunna rena en så stor plats som möjligt (ITRC, 1999).*
- o *Kontext - vad finns runt omkring platsen? Bostäder, allmänna platser, infrastruktur? Hur ser grönstrukturen ut? (ITRC, 1999).*
- o *Hydrologi – Information om på vilket djup och hur grundvattnet rör sig är särskilt viktigt vid reningsmetoden hydraulisk kontroll. Även information om hur grundvattennivån fluktueras är viktigt för att kunna anpassa*

*växtmaterialet. En stabil vattennivå är för de flesta växter mest önskvärd (ITRC, 1999).*

- o *Topografi – Topografin påverkar växtmiljön, höjder kan ge torrare jordförhållanden medan sänkor kan vara blötare under perioder.*
- o *Slutmålet med platsen - Vilken markanvändning ämnar platsen att utnyttjas för efter reningsprocessen? Även det en viktig punkt att ta hänsyn till vid beslut om marksaneringsmetod (EPA, 2000). Ska platsen fortsätta vara en grönyta eller ska den bebyggas? MKM (mindre känslig markanvändning) eller KM (känslig markanvändning).*

#### STEG 2. VAL AV METOD

För att kunna avgöra om fyto Remediering är en lämplig metod och i så fall vilken metod/er som är lämpligast för platsen kan beslutsträdet på nästa sida (figur 5:3) som är modifierat från Andersson och Svensson (2007) ge vägledning.

Figur 5:3 Beslutsträd för val av fyto Remedieringsmetod. >



### STEG 3. DESIGN

Efter analys av platsen och val av fyto Remedieringsmetod är nästa steg att planera för utformning av ytan. Design av ett fyto Remedieringsprojekt blir lite mer komplext än vid utformningen av ett vanligt grönområde eftersom två funktioner möjligen ska kombineras; att rena den förorenade marken och att skapa en estetiskt tilltalande och spännande miljö. Att ha målet att kombinera dessa två funktioner är kanske främst viktigt vid rening av platser i närhet till människor, som i en urban kontext.

Att designa ett fyto Remedieringssystem kräver noggrann planering för att säkerställa att reningen blir så effektiv som möjligt, att skötsel underlättas och att möjliga faror relaterade till hälsa och säkerhet reduceras (ITRC, 1999).

#### Val av växter

Några punkter att utgå ifrån vid val av växtarter är:

- 1) Välja växter som har visats vara effektiva för de föroreningar som finns på platsen genom forskning eller fältförsök.
- 2) Välja växter som naturligt växer i området, eller växter som fungerar i den aktuella växtzonen.
- 3) Växter kan också väljas baserat på de växter som redan växer på platsen då dessa troligen är toleranta mot föroreningarna. Deras förmåga att remediera föroreningarna måste då kontrolleras. (EPA, 2000).

Det växtmaterial som anses kan utnyttjas för en så effektiv reningsprocess i den specifika situationen bör därmed väljas. Att använda växtmaterial odlat i området är som i vanliga fall att föredra då dessa plantor är vana vid klimatet (ITRC, 1999). Vilken kvalitet på växtmaterialet som ska användas beror på vilken budget som projektet har men även vilken kvalitet som har störst möjlighet till en snabb etablering (ibid).

Eftersom det främsta syftet med planteringen är att rena den förorenade marken är det därför viktigt att hela den förorenade ytan planteras så att rötterna har möjlighet att sprida ut och täcka upp så stor del av jorden som möjligt. För att kunna sköta planteringen rationellt är en hortikulturell typ av plantering med jämna radavstånd att föredra

(ITRC, 1999).

En sammanställning av de växter som har testats och som jag har funnit i litteraturen finns i Bilaga 2.

#### Dynamisk vegetationsbyggnad

Beroende på vad platsen ska få för markanvändning efter reningsprocessen så kan olika planteringsstrategier tas. Om platsen ska bebyggas direkt efter är en snabbväxande vegetation med en så effektiv rening som möjligt det som kanske föredras. Men om platsen ska utvecklas till en park/ett grönområde efter reningsprocessen kan en dynamisk vegetationsbyggnadsstrategi användas där inplantering av långsamväxande träd som inte har syfte att ta upp föroreningar men som planteras för att skapa en grund till en framtida grönstruktur på platsen. Dessa träd hinner därmed etablera sig och kunna skapa en volym till platsen när den andra vegetationen troligtvis måste tas ned. ITRC (1999) rekommenderar att de långsamväxande trädarterna i sådana fall utgör 10 – 15 % av det totala antalet plantor som planteras. För att skapa ett spännande naturligt bestånd med flerskiktade lager kan ett buskskikt och fältskikt även planteras in efter att trädplantorna har etablerat sig. Dessa skikt kan i så hög grad som möjligt bestå av fyto Remedierande växter men om det inte finns några lämpliga sådana kan andra växter med önskvärda spännande karaktärer, så som blommor, blad eller habitus planteras in.

### STEG 4. IMPLEMENTERING

När analysen av platsen, val av metod och beslut om utformning är gjorda är det dags att planera för anläggning och förbereda platsen för att kunna anlägga 'fyto Remedieringsparken'.

- o Förberedelse av växtbädd – För att fröerna eller plantorna ska kunna etablera sig och få önskad tillväxt måste markberedning ske för att skapa en god växtbädd (EPA, 2000).
- o Jordförbättring – Gödsling kan behövas för att jorden ska uppnå en tillräcklig näringshalt för att växterna ska kunna etablera sig (EPA, 2000).
- o Plantering – Frösådd, eller plantering? Vilket

*planterings- och eller såddavstånd? Tidpunkt för plantering/sådd? (EPA, 2000).*

- o Bevattningsutrustning och schema för bevattning
- o Informera allmänheten – *Det är viktigt, som vid alla saneringar, att informera allmänheten om saneringsplanerna. Eftersom sanering med fyto Remediering ofta innebär att en tillfällig grönyta skapas, som i vissa fall inte får beträdas på grund av risk för kontakt med föroreningar, är det viktigt att informera om syftet med planteringen (EPA, 2001).*
- o Föroreningarnas effekt på näringsupptag eller andra toxiska effekter bör utvärderas
- o Inhägnad - *Skydd mot att djur kommer i kontakt med växterna kan vara nödvändigt. Stängsel eller liknande kan därför behövas (EPA, 2000).*

#### Beredskapsplanering

Vad händer då reningen inte går som det är planerat? Att vara förberedd och ha en genomtänkt beredskapsplan är viktigt för att veta vilka åtgärder som ska vidtas om fyto Remedieringssystemet inte möter de reningsmålen som är satta inom den utsatta tidsramen (ITRC, 1999).

#### STEG 5. UNDER RENINGSPROCESSEN

Underhåll och skötsel av planteringarna är viktigt för att säkerställa att växterna växer och därmed kunna uppnå lyckade resultat. Därför är det viktigt att upprätta en skötselplan (EPA, 2001).

#### Skötsel

- o Ogräsbekämpning – *Ogräsbekämpning är som vid vanliga planteringar väldigt viktigt för att växterna ska kunna etableras. Både mekaniska och kemiska metoder kan användas (EPA, 2001).*
- o Bevattning – *viktigt för att växterna ska kunna etablera sig. Droppbevattning är att föredra, då avdunstningen av vattnet minimeras och kan därmed hålla kostnaderna nere (EPA, 2001).*
- o Gödsling – *Kan eventuellt behövas för att tillväxthastigheten inte ska minska (EPA, 2000).*
- o Hålla pH-värdet stabilt – *Detta för att säkra att växternas tillväxthastighet inte sänks (EPA, 2000).*

- o Kontroll av skadegörare – *Till exempel kan fåglar behöva hållas borta med nät; djur genom att området hägnas in och insekter med växtskyddsmedel (EPA, 2000).*
- o Återplantering – *Som vid alla planteringar finns det risk för att en viss del av växterna inte överlever, antingen vid etableringen eller på grund av andra orsaker vid senare tidpunkter, och kan därför behöva återplanteras. (ITRC, 1999).*
- o Renhållning – *Undanröjning av dött eller skadat växtmaterial, nedfallna löv, grenar, eller beskurna växtdelar behövs göras regelbundet för att förhindra spridning av föroreningarna (EPA, 2000).*

#### Skörd

- o När ska skörd ske? – *Skörd av växtmaterialet är beroende på om planteringen består av annueller, perenner eller träd, men även om föroreningarna ackumuleras i växtvävnaden eller inte. Fyto Remedieringssystem som är relativt långsiktiga och permanenta och är beroende av att vegetationen snabbt etableras till ett moget bestånd, till exempel poppelträd eller perenna gräs för rhizodegradering, behöver inte någon periodisk skörd. De system uppbyggda av till exempel fytoextraktion eller rhizofiltrering är däremot beroende av en regelbunden skörd för att föroreningarna ska försvinna från platsen (EPA, 2000).*
- o Hantering av avfall – *Vid de fall där växtvävnaden tar upp föroreningarna måste de ovanjordiska växtdelarna skördas och deponeras som farligt avfall. Om växterna inte tar upp föroreningar i sitt växtmaterial kan dessa komposteras eller spridas ut på plats för att öka den organiska halten i jorden. Att transportera bort det förorenade växtmaterialet utgör mindre risk för spridning samt lägre kostnad än vid borttransportering av schaktmassor, då växtmaterialet utgör en mindre volym samt lägre grad av förorening (EPA, 2001).*

#### Kontroll

- o Kontroll av värden – *Regelbundna provtagningar för att se om föroreningsnivåerna har sjunkit i jord och vatten.*
- o Kontrollera upptaget av föroreningarna i

växterna – Hur mycket har växterna tagit upp?  
Behöver de skördas?

- o Utvärdering av effektiviteten – Hur effektivt tar växterna upp föroreningarna? (EPA, 2001).

Utveckling av vegetationen

Hur ska vegetationen förändras över tid?

- o Gallring av träd – Regelbunden gallring bör ske för att växterna ska kunna få en god tillväxt.
- o Inplantering av framtida parkträd – Träd som inte har någon fytoremedierande effekt kan planteras in för att skapa en grund till en framtida grönsstruktur.
- o Upplevelsevärden – Genom en kreativ skötsel (Gustavsson, 1994) kan vegetationen ge större upplevelsevärden. Variation i bland annat gallringsdensiteten för att utveckla en varierad kombination av träd och buskar, gläntor och variation i ljusintensitet. Inplantering av buskskikt kan ske för att skapa ett flerskiktat bestånd och därmed skapa ett naturligt bestånd med rumsliga variationer (Kingsbury, 2004).

## STEG 6. AVSLUT

- o Provtagningar - Är föroreningarna på den önskade nivån? Kontroller kan behöva fortlöpa även efter att reningsmålen är nådda för att kunna avgöra fytoremedieringssystemets inverkan på ekosystemet (EPA, 2001).
- o Vad ska hända med platsen nu? – Om platsen är tänkt att fortsätta att vara en grönyta blir den avslutande fasen relativt enkel genom att endast viss utrustning behöver tas bort. Om platsen däremot är planerad för en ny markanvändning såsom byggnation, behöver all vegetation tas bort tillsammans med all utrustning. Då måste särskild hänsyn tas till växtavfallet (ITRC, 1999).
- o Hantering av växtmaterial, ta upp rötter? – Rötterna kan behöva tas upp då dessa kan ha koncentration av föroreningar i sig. Innehåller de inga föroreningar kan rötterna istället fräsas sönder på plats.
- o Borttagning av växtmaterial – Att ta ner träd kan orsaka negativa reaktioner bland närboende, det är därför viktigt att det har

informerats tydligt att platsen endast tillfälligt är planerad för att undvika missförstånd (Westphal & Isebrands, 2001).

- o Rapportering – En rapport som beskriver hela processen med resultat tillsammans med en utvärdering och lärdomar från projektet kan sammanställas för att bidra till en ökad kunskap kring fytoremediering och framtida projekt (ITRC, 1999).

## SAMMANFATTNING

Fytoremediering är en komplex metod på grund av både de många kompetenser som bör vara inblandade och de många momenten som reningsprocessen utgör. De många detaljerna i de olika momenten under reningsprocessen gör att det finns många faktorer som kan påverka metodens effektivitet, att rätt kompetens är inblandad är därför viktigt för att kunna minimera dessa risker. En långsiktig planering krävs därför för att försäkra om att en korrekt skötsel upprätthålls genom hela reningsprocessen för att metoden på så sätt ska ge önskat resultat.





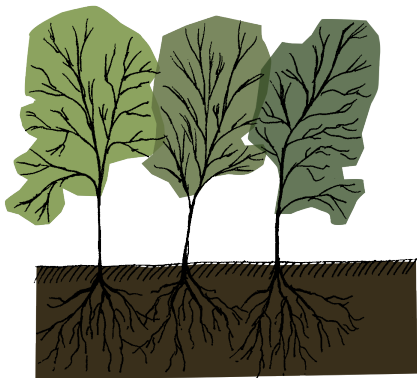


## DEL 6.

### UTFORMNINGSPRINCIPER FÖR RENINGSMODELLER

---

Denna del kommer genom utformningsprinciper för reningsmodeller undersöka lämpligheten att använda fytoremediering på vanligt förekommande postindustriella kontexter. Gasverkstomter, nedlagda bensinstationer och soptippar används som exempel för modellerna. Dessa är alla tre, som nämnt under del 2 tidigare i detta arbete, vanligt förekommande verksamheter som gett upphov till en föroreningssituation som kan vara i behov av sanering. De återfinns runt om i landet men skiljer sig också ifrån varandra i karaktär och kan därför ge olika förutsättningar till principerna. Reningsmodellerna är generella och därför inte bundna till någon specifik plats. Syftet är att undersöka lämpligheten att använda fytoremediering i dessa kontexter och samtidigt försöka ge en visuell känsla för hur fytoremediering potentiellt kan ge andra värden till platsen än att endast rena den. Modellerna ska också fungera inspirerande och som ett verktyg att kunna använda sig av vid en faktisk tillämpning av metoden.



Figur 6:1 Reningsprocessen under mark och växternas upplevelsevärden ovan mark i kombination

Varje postindustriell kontext introduceras med en historisk tillbakablick för att skapa en förståelse för vad som har gett upphov till föroreningarna och varför det finns ett värde i att sanera dem. Därefter beskrivs vilka de potentiella föroreningarna kan vara och hur spridningen av dem kan se ut. Denna inledning följs sedan av en kort beskrivning av ett exempel på när fyto Remediering har använts i en liknande kontext. De referensexempel som jag valt att använda har jag främst funnit under arbetets gång i litteraturen till fyto Remedieringsavsnittet, del 3. Utvecklandet av reningsmodellerna har utgått ifrån de fytotekniker som lämpar sig till de funna föroreningarna och det växtmaterial som är kopplat till dem. Växterna är även sammanställda i bilaga 2 Växtlista. Varje kontext och reningsmodell avslutas med en kommentarer kring vad jag anser att fyto Remediering har för möjlighet att användas som reningsmetod för den kontexten och vilka mervärden metoden kan ge.

## GASVERKSTOMTER



&lt; Figur 6:2 Gasverk

Att framställa gas från stenkolk var en teknik som utvecklades i England under slutet av 1700-talet, men det var först 1814 som det första kommersiella gasverket anlades i London. 1846 fick Sverige sitt första gasverk i Göteborg och under andra hälften av 1800-talet uppfördes 27 stycken andra verk runt om i landet. Gasverken ägdes av städerna och deras främsta uppgift var att producera gas att använda till stadens belysning. Efter sekelskiftet användes även gasen till uppvärmning av hus. Kolgasepoken fick sitt slut under 1960-talet då eldningsolja och fjärrvärme tog över som energi för uppvärmning. Några verk gick då över till spaltgasproduktion producerat med lättbensin och butan istället för stenkolen. De andra anläggningarna lades ner helt (Länsstyrelsen i Skåne Län, 2005).

Gasverken är i regel placerade nära stadskärnorna, detta för att rördragningen och transporten av gasen skulle bli så kort som möjligt. Detta innebär nu att gasverkstomterna har mycket centrala lägen då städerna har expanderat och utgör på så sätt mycket attraktiva tomter för exploatering (Länsstyrelsen i Skåne Län, 2005).

*Potentiella föroreningar*

Gasproduktionen var aktiv under en tid då kunskapen kring miljö- och hälsoriskerna med hanteringen av produkterna var begränsad vilket har resulterat i att många miljögifter har läckts ut. Gasframställningen genererade biprodukter som koks och tjära, dessa återanvändes inte från början och därför finns ofta spår av dessa på gasverkstomter. Koks har gett upphov till föroreningar som ammoniak och kvicksilver, och från stenkolkstjäran

kan man nu spåra polyaromatiska kolvärden (PAH:er). Hanteringen av stenkolet har också lett till markföroreningar, stenkolet lagrades ofta direkt på marken och urlakning av kvicksilver var därför vanligt. För att minska damningen från kolet sprutades olja över. Förutom dessa föroreningar är även ammoniakvatten, myrmalm som innehöll cyanid och svavel, samt aromatiska kolväten, som bensen, vanligt förekommande. Även bly, som användes vid destilleringen av tjära, och kadmium kan förekomma (Länsstyrelsen i Södermanlands Län, 2006). Detta har resulterat i en komplex föroreningssituation på många gasverkstomter runt om i landet.

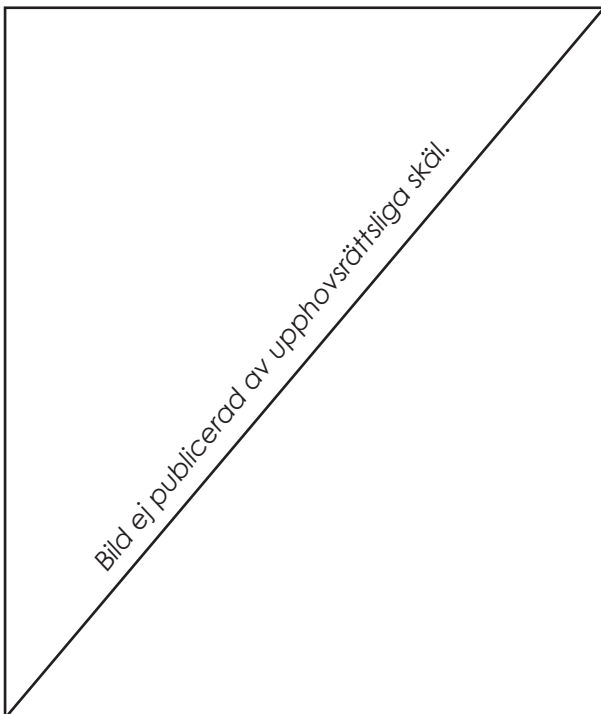
*Exempel på fyto Remediering vid gasverksområde*

I Holte, cirka två mil utanför Köpenhamn i Danmark har fyto Remediering använts som delvis saneringsmetod vid den centrala gasverkstomten. Tomten var i stort behov av sanering då ortens vattenförsörjning är beroende av en akvifer under området som har förorenats med cyanid, tjära, fenoler och olja (Andersson & Svensson, 2007). 2 500 popplar av tre olika arter (1 000 *Populus trichocarpa* x *maximoviezii*, 1 000 *P. robusta* och 500 *P. canescens*) planterades för att som främsta syfte förhindra läckage av föroreningarna ner till grundvattnet genom hydraulisk kontroll. Att poppel även kan bryta ned föroreningarna som finns på platsen sågs endast som en ytterligare fördel (Andersson & Svensson, 2007). Träden är planterade i regelmässiga rader och mönster för att säkra ett jämnt upptag och vara lättskötta (Larsen, 2003). Att använda tre olika arter är ett sätt att

minimera risken för att hela odlingen skulle kunna slås ut av en sjukdom (Andersson & Svensson, 2007).

Idén med planteringen var även att platsen skulle fungera som en funktionell park. Men för att tillgängliggöra platsen och skydda mot kontakt med föroreningarna har marken täckts med ett GeoTex-membran och ovanpå det ett lager med träflis. Stigar har anlagts (se figur 6:3) och ett antal spegeldammar löper centralt genom området för att skapa en spännande plats att vistas på (Larsen, 2003).

Mätningar har visat att en klar reduktion av cyanidinnehållet har skett när träden endast varit 1,5 – 5 meter höga (Larsen, 2003).



Figur 6:3 Fytoremedieringsparken i  
< Holte, Danmark.

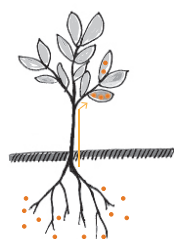
## Förslag till reningsmodeller

### Utgångsläge:

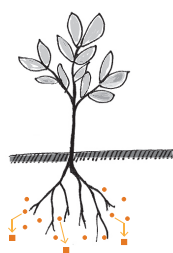
Mitt utgångsläge för förslagen till reningsmodellerna på gasverkstomter är att gasverket eller annan industriell verksamhet på platsen inte längre är i bruk och att tomten har ett centralt läge och på lång sikt planeras för att exploateras. Jag utgår ifrån de vanligt funna föroreningarna som tidigare presenterats och de fytotekniker som jag angett har möjlighet att rena de aktuella föroreningarna. Jag har utifrån det sedan gjort ett urval av växter som kan tänkas vara möjliga att använda i tre olika reningsmodeller som kan tillämpas var för sig eller kombineras. De första åren kan alla de ytor på gasverkstomten som ska fyto Remedieras planteras med fält av solrosor (*Helianthus annuus*). Solrosorna ger omedelbara estetiska kvaliteter med deras gula iögonfallande blomning och samtidigt som reningsprocessen påbörjas kan uppmärksamhet till platsen skapas. Samtidigt förbereds jorden och förbättras för att den nästkommande vegetationen lättare ska kunna etableras (se figur 6:10).

### Möjliga fytotekniker

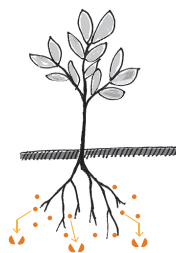
Den komplicerade föroreningssituationen kräver en mångfald av tekniker, möjligtvis även med inblandning av andra saneringsmetoder, för att få en lyckad reningsprocess. För val av vilka fytotekniker som lämpar sig bäst att använda har jag utgått från sammanställningarna av fytotekniker i bilaga 1 där vilka föroreningar som växten kan ta upp och i vilken typ av mark presenteras. De tekniker som skulle kunna användas vid en rening av gasverkstomter är: fytoextraktion, fytostabilisering, fytostimulering/rhizodegradering, fytoavdunstning och hydraulisk kontroll. (Figur 6:4-6:9)



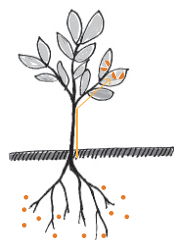
Figur 6:4 Fytoextraktion  
(kvicksilver, kadmium)



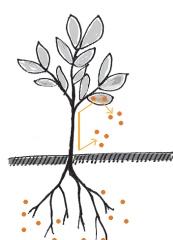
Figur 6:5 Fytostabilisering  
(kvicksilver, bly)



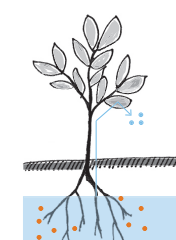
Figur 6:6 Fytostimulering/  
rhizodegradering (PAH:er)



Figur 6:7 Fytodegradering  
(organiska föreningar)



Figur 6:8 Fytoavdunstning  
(kvicksilver)



Figur 6:9 Hydraulisk kontroll  
(organiska föreningar)



Figur 6:10 Försådd av solrosor på gasverkstomten, ger snabba estetiska kvaliteter och skapar uppmärksamhet samtidigt som de tar upp tungmetaller.

## 1. Den produktiva grönskan

Genom att använda pil och poppel, som är två snabbväxande träarter, kan biomassaproduktion för bioenergi kombineras med en grönskande plats för promenader och vistelse. En regelbunden skörd för att hålla biomassaproduktionen igång men också för att föroreningarna successivt ska försvinna från platsen, gör att området ständigt är i förändring vilket kan ge en intressant aspekt till platsen. Den ”produktiva grönskan” kan göras tillgänglig genom att stigar med täckbark planeras in (se figur 6:3 för inspiration).

### VÄXTLISTA:

*Populus* sp. – poppel  
(fytoextraktion, fytostimulering/rhizodegradering, fytotäckning, fytoavdunstning)

*Salix* sp. – pilarter  
(fytoextraktion)



## 2. Ängen

Ängen som reningsmodell är tänkt att fungera på de ytor av området där föroreningarna är relativt ytliga, då de örtartade växternas rötter inte sträcker sig lika djupt som trädarternas. Ängen kan tillföra en öppen känsla till delar av området, med ett fält av vajande gräs och blommor, och blir på så vis en kontrast mot de gröna massbildande planteringarna. Växterna som jag valt ut, både annueller och perenner, skapar tillsammans en vild karaktär. Två planteringar behöver dock göras, en med annueller och en med perenner, då dessa kräver olika typer av skötsel. Annuellerna måste skördas och sås om varje säsong, medan det perenna systemet kan klara flera säsonger, dock måste växtavfallet (i de fall då växterna tar upp föroreningarna i växtvävnaden) städas bort efter varje säsong.

### Annueller:

1. *Thlaspi arvense* – penningört (fytoextraktion)
2. *Alyssum alyssoides* – gråddådra (fytoextraktion)
3. *Panicum* sp. – hirs (fytostimulering/rhizodegradering)
4. *Brassica juncea* – sareptasenap (fytoextraktion, fytostabilisering, fytostimulering/rhizodegradering, fytoavdunstning)

### Perenner:

5. *Lolium* sp. – repen (fytostimulering/rhizodegradering)
6. *Galega orientalis* – fodergetruta (fytostimulering/rhizodegradering)
7. *Medicago sativa* – blåusern (alfalfa) (fytoextraktion, fytoavdunstning)
8. *Festuca rubra* – rödsvingel (fytostabilisering, fytostimulering/rhizodegradering)
9. *Festuca arundinacea* – rörsvingel (fytostabilisering, fytostimulering/rhizodegradering)





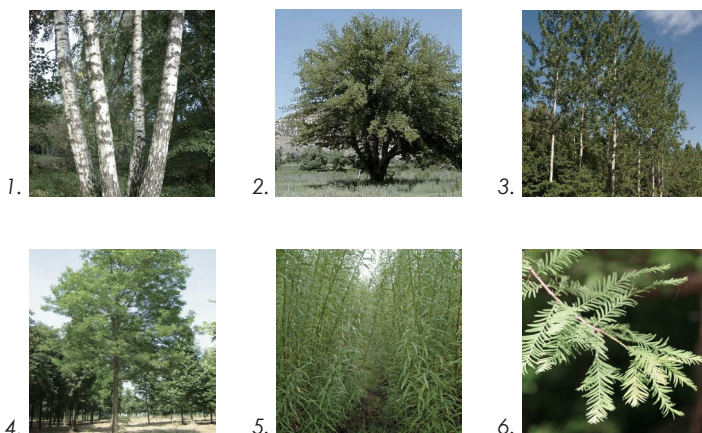
## 3. Det naturlika beståndet - succession

Denna modell är tänkt att genom inspiration från naturen bilda ett intressant flerskiktat bestånd som kan utvecklas successivt och stå som grund för en framtida grönstruktur på platsen. En dynamisk vegetationsbyggnadsstrategi kan användas där pionjärträden som består av fyto Remedierande, snabbväxande arter som pil, poppel, björk och robinia, kan skapa en skyddad miljö för de långsamväxande sekundärträddarter att växa upp i. Sekundärträddarterna är i detta fall arter som väljs för att bilda en framtida vegetationsstruktur och inte för att specifikt fungera fyto Remedierande. Träden kan planteras i små häckkvaliteter för att genom regelbunden gallring byggas upp till ett flerskiktat bestånd. En brynzon kan skapas av mullbär och sumpcypress, som är ljuskrävande arter, för att skapa ytterligare kvaliteter till planteringen. Mullbär har visat sig kunna producera fenoliska föreningar och stimulera degradering av PCB och PAH (Pilon-Smits, 2005). Ett fältskikt med marktäckare som tål markgifterna, möjligen gräsarter, kan användas för att täcka marken och skydda djur och människor mot kontakt med den förorenade jorden. Alternativt kan täckbark användas. Denna modell är tänkt att kunna användas på de platser av området som även efter framtida exploateringar ska ha en grön karaktär för att redan vid saneringsarbetet etablera en struktur för den framtida vegetationen. Se figur 6:11 - 6:13 för sektioner av beståndets utveckling.

## VÄXTLISTA:

## Träd:

1. *Betula pendula* – vårtbjörk  
(fytodegradering)
2. *Morus* sp. – mullbär  
(fytostimulering/rhizodegradering)
3. *Populus* sp. – poppel  
(fytoextraktion, fytostimulering/  
rhizodegradering, fytotäckning,  
fytosvampdunstning)
4. *Robinia pseudoacacia* – robinia  
(fytosvampdunstning)
5. *Salix* sp. – pilarter  
(fytosvampdunstning)
6. *Taxodium distichum* – sumpcypress  
(fytodegradering)



Figur 6:11 **Fas 1.** Efter tre år är vegetationen etablerad, gallring har inte skett ännu vilket gör vegetationen tät. Rening av föroreningarna pågår för fullt.



Figur 6:12 **Fas 2.** Efter 10 år har gallring av ett antal pionjärarter skett och flera skikt i vegetationen har skapats. Sekundärträdarterna börjar etablera sig. Rening av föroreningarna pågår fortfarande.



Figur 6:13 **Fas 3.** Efter ungefär 20 år beräknas reningen vara avslutad och de flesta pionjärarterna utgallrade. Sekundärarterna ges nu plats för att utveckla sin kronvolym och står nu som grund för grönstrukturen i området.



*Kommentarer*

Att använda fyto Remediering som saneringsmetod på gasverkstomter har stor potential. Den komplexa föroreningsituationen som gasverkstomterna har gör dock att fyto Remediering möjligen inte kan användas som enda saneringsmetod. Då gasverkstomter är relativt stora har fyto Remediering däremot möjlighet att pågå både parallellt med andra saneringsmetoder men också parallellt med att platsen exploateras och bebyggs. De reningsmodeller som är föreslagna i detta avsnitt är tänkt att kunna kombineras för att ge platsen en rumslik variation och vara upplevelsemässigt variationsrik. Att använda olika reningsmodeller med en variation av växter och kombinationer av dem, på olika platser inom området ger möjlighet att mäta och jämföra effektiviteten hos de olika växterna eller modellerna.

Att så in solrosor under de första säsongerna som föreslagits här, ger en möjlighet att involvera medborgare i uppstartsprocessen. Att involvera medborgare kan vara ett sätt att informera kring föroreningsituationen, skapa uppmärksamhet kring projektet och låta det bli drivkraften för uppstarten för exploateringen av området.

## NEDLAGDA BENSINSTATIONER



&lt; Figur 6:14 Nedlagd bensinstation.

I och med den ökade bilismen under början av 1900-talet ökade även försäljningsställena för bensinen som då vanligtvis såldes från enstaka pumpar utanför speceributiker, verkstäder med mera. Det var inte förrän under 1930-talet som de första renodlade servicestationerna uppfördes och det var under den perioden som flest bensinstationer, cirka 12 300, fanns i Sverige. I början av 1960-talet ökade säkerhetskraven för bensinstationerna. Detta och att nya vägsträckningar av bland annat motorvägar samt oljekrisen på 1970-talet ledde till en stor nedläggningsvåg som endast lämnade kvar 4 500 stationer. Idag finns det runt 3 000 verksamma stationer (SPIMFAB, 2014). Fram till 1990-talet var det vanligt vid nedläggning av bensinstationer att saneringen skedde genom att endast rengöra cisternerna (magasin under mark) och fylla dem med sand. Under 1990-talet skärptes dock kraven vid nedläggning och omkringliggande mark började därför undersökas (ibid).

Oljebolagen, Naturvårdsverket och kommunförbundet har en överenskommelse och ett åtgärdsprogram för undersökning och sanering av nedlagda bensinstationer (Länsstyrelsen i Jämtlands Län, 2014). Genom aktiebolaget SPIMFAB (SPI miljösaneringsfond) som är ett samarbete mellan SPBI och oljebolagen har SPBI under åren 1997 till 2014 undersökt och vid behov åtgärdat föroreningar i mark vid mer än 4000 nedlagda bensinstationer (SPBI, 2014). Mer än 95 % av dessa åtgärdades med schaktsanering, på de övriga testades nya in situ metoder i både pilotskala och fullskala. Metoder alltifrån vattenrening och ventilering till

bakteriebehandling och enzymbehandling testades som nya miljövänliga metoder (SPIMFAB, 2014).

*Potentiella föroreningar*

Mark och grundvatten kring bensinstationer kan vara förorenade av främst oljeprodukter och lösningsmedel. Idag efterbehandlas bensinstationsområden vid läckage eller vid nedläggning av verksamheten. Stor osäkerhet finns dock kring hur föroreningssituationen ser ut vid gamla anläggningar (Länsstyrelsen i Jämtlands Län, 2014). Bensin och dieselbränsle är de vanligaste petroleumprodukterna vid bensinstationer. Många av de ämnen som finns i petroleumprodukter kan ha negativa effekter på människors hälsa och på miljön om de exponeras för omgivningen. Eftersom bensin och dieselbränsle är lättare än vatten kan spill påträffas i anslutning till grundvattenytan men kan även ansamlas i finkorniga jordarter som hindrar spridning i djupled. Om marken består av grövre jordarter eller om spillet varit stort kan föroreningarna återfinnas i ett större område kring bensinstationen (SPI, 2010). Förekomsten av PAH kan också påverka behovet av sanering (ibid).

De flesta föroreningarna återfinns vid bensinpumparna, cisternerna och intill påfyllningsstationer (SPI, 2010).



*Exempel på fyto Remediering vid en bensinöverföringsterminal, Ogden, Utah, USA.*

Vid en före detta överföringsterminal där bensin fördes från rörledningar och tankar till lastbilar för att leverera vidare till bensinstationer, har en fältstudie med test av fyto Remediering gjorts. Jord och grundvatten på platsen var förorenad med olja till följd av läckage och spill från verksamhetens 50 aktiva år. För traditionell sanering uppskattades att kostanden skulle uppgå till ca \$ 1 miljon och fyto Remediering övervägdes därför som en ekonomiskt och ekologiskt fördelaktig metod för platsen (Jackson, 2001). En utförlig provtagningsplan gjordes för att få en god uppsikt över var och vilka föroreningar som fanns på platsen. De växter som valdes att planteras var olika gräsarter, alfalfa, poppel och enbuskar. Dessa placerades ut på de områden där provtagningarna visat att föroreningarna fanns. Efter tre år visade alla växter på en god tillväxt och vid en uppföljningskontroll där föroreningsnivåerna mättes i jord och grundvatten visade det att vegetationen, speciellt gräsarterna, kan reducera olja i jorden. Gräsen visade sig förbättra för mikroorganismer som i sin tur kan bryta ned föroreningarna. Poppelträden förhindrar flödet av förorenat grundvatten och kan samtidigt bryta ned petroleumföroreningar. Träden suger upp vattnet från ytliga grundvattenmagasin och bryter ned föroreningar som sitter fast i jordpartiklarna genom att rötterna suger upp det förorenade vattnet innan det kan rinna iväg från platsen (Jackson, 2001). Den slutliga kostnaden för projektet blev \$ 200 000 vilket endast är 20 % av vad kostnaden för vanlig sanering var beräknad till (ibid).

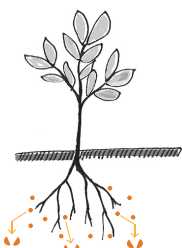
### Förslag till reningsmodeller

#### Utgångsläge:

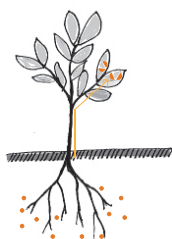
Utgångsläget för utformningen av reningsmodellen vid en nedlagd bensinstation är att stationen har haft ett bostadsnära läge i en tätort. Jag utgår även ifrån att bensinstationen ifråga har rivits och att marken ska få ett nytt användningsområde. Hela bensinstationens yta är troligen inte förorenad utan vissa områden där bensinpumparna, påfyllningsstationerna och cisternerna har varit antas också vara de platser där markföroreningarna främst finns. Två modeller är framtagna, en för att rena själva bensinstationsområdet och en för att rena potentiellt förorenat grundvatten runt omkring platsen. Mitt utgångsläge är också att platsen genom reningsprocessen ska tillgängliggöras för boende i området och ge platsen estetiska upplevelsevärden.

#### Möjliga fytotekniker

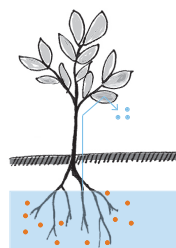
Fytoremediering kan vara en alternativ metod för sanering av nedlagda bensinstationer eller fungera kompletterande till schaktsanering. Eftersom cisternerna kan behöva grävas upp måste schaktning ändå ske på platsen och i de fall kan fytoremediering istället fungera som en kompletterande eller finputsande metod. Fytoremediering kan också användas för att förhindra att föroreningarna sprids till grundvattnet eller för att rena de möjligen förekommande spridnings- och exponeringsvägarna som visas i figur 6:15. Växterna kan därmed planteras i stor omkrets kring bensinstationen för att göra nytta. De fytotekniker som möjligen kan användas vid sanering av bensinstationer kan vara: fytostimulering/rhizodegradering, fytodegradering och hydraulisk kontroll.



Figur 6:17 Fytostimulering/  
rhizodegradering  
(organiska föreningar,  
PAH:er)



Figur 6:18 Fytodegradering  
(organiska föreningar)



Figur 6:19 Hydraulisk kontroll  
(organiska föreningar)

## 1. Trädgård på bensinstationen?:

Bensinstationsområden är relativt små och ytan kan därför planeras för att skapa ett intimt trädgårdsrum med en vegetation som varierar mellan fält av blommande växter och dungar av grönskande träd. Mitt förslag är att bensinstationsområdet delas upp efter var föroreningarna finns samt hur djupgående de är. Där föroreningarna är grundliga kan örtartade växter, både gräsarter och blommande, planeras i grupper efter arter. Detta för att underlätta att genom provtagningar kunna studera de olika arternas effektivitet att bryta ned föroreningarna, samt för att underlätta för skötseln. Många av de växter som kan användas för rening har inte någon traditionell trädgårdskaraktär, utan återfinns ofta i dikesrenar vilket ger dem en vild karaktär. Genom att plantera dem gruppvis med en tanke kring blomningstider kan en mer formell trädgårdskaraktär skapas. Dungar av träd såsom vårtbjörk, poppel eller svartpil kan planteras där föroreningarna ligger på ett större djup. För att bygga vidare på trädgårdskaraktären kan mullbär och Paul Scarlet's ros planteras på området. Se figur 6:20 på nästa sida för inspiration.

Om föroreningssituationen är svår och det finns risk för att de sprids från platsen kan pelarpoppel planteras som en omringande barriär som samtidigt ramar in det tillfälliga trädgårdsrummet.

Då föroreningarna främst i detta fall bryts ned av växterna i jorden är regelbunden skörd inte nödvändig. Att människor eller djur kommer i kontakt med planteringen behöver därför heller inte vara något problem.

## VÄXTLISTA

## Träd:

1. *Betula pendula* – vårtbjörk  
(fytodegradering)
2. *Morus* sp. – mullbär  
(fytostimulering/rhizodegradering)
3. *Populus* sp. – poppel  
(fytostimulering/  
rhizodegradering, hydraulisk kontroll)
4. *Rosa* spp. (Paul's Scarlet) - Paul's Scarlet  
ros  
(fytodegradering)
5. *Salix nigra* – svartpil  
(fytodegradering)
6. *Taxodium distichum* – sumpcypress  
(fytodegradering)

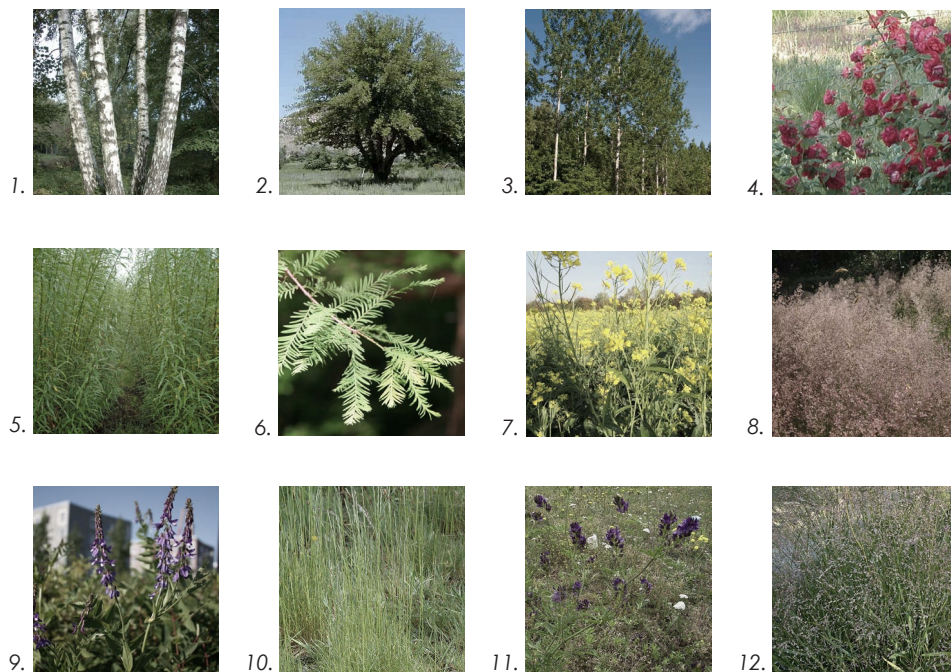
## Perenner/Annueler

7. *Brassica juncea* - sareptasenap  
(fytostimulering/rhizodegradering)
8. *Festuca* sp. - svingel  
(fytostimulering/rhizodegradering)
9. *Galgea orientalis* – fodergetruta  
(fytostimulering/rhizodegradering)
10. *Lolium* sp. - repen  
(fytostimulering/rhizodegradering)
11. *Medicago sativa* – blåusern (alfalfa)  
(fytostimulering/rhizodegradering,  
fytodegradering)
12. *Panicum* sp. - hirs  
(fytostimulering/rhizodegradering)





Figur 6:20 Ett intimt trädgårdsrum på ytan där den nedlagda bensinstationen en gång varit verksam har skapats samtidigt som platsen frigörs från sina föroreningar.



## 2. Rening av grundvatten runt om bensinstationen:

Som figur 6:15 visar på sidan 66, kan föroreningarna spridas från bensinstationen vidare till grundvattnet och till närliggande vattendrag. Om så är fallet kan poppel planteras på lämpliga platser för att genom hydraulisk kontroll förhindra en fortsatt spridning samt sanera de föroreningar som är närvarande.

### *Kommentarer*

Det pågår omfattande inventeringar av föroreningssituationen på många nedlagda bensinstationer runt om i landet och saneringsarbetet av dem är kostsamt. Som nämndes inledningsvis har biosanering testats som ny miljövänlig metod för rening av oljeföroreningar vid bensinstationer. Fytoremediering skulle i de fall där tiden inte är begränsande också kunna testas som en ekonomiskt och ekologiskt fördelaktig metod samtidigt som metoden kan ge mervärden till platsen. Bensinstationsområden är jämfört med till exempel gasverkstomter relativt små vilket kan tänkas skapa möjlighet att använda dessa som en testarena för nya miljövänliga saneringsmetoder. En liten yta kan också kräva en mer detaljerad utformning av platsen med större artrikedom för att den ska bli intressant och ge tydliga estetiska värden, därför har jag valt att i mitt förslag av reningsmodell använda ett "trädgårdsformspråk". Skapandet av små intima rum med blommande växter tillsammans med trädjungar ger en grönskande fickpark för boende i området att njuta av. Den andra reningsmodellen är till för att lyfta problematiken med en spridning av föroreningarna från platsen till grundvattnet och intilliggande vattendrag, vilket kan orsaka problem för både människor och djur. Att plantera poppel på dessa spridningsvägar kan användas som kompletterande metod tillsammans med konventionella saneringsmetoder av själva bensinstationsområdet. Plantering av poppel kan dock endast ske där inga andra byggnadsstrukturer eller andra hinder finns.

## SOPTIPPAR



&lt; Figur 6:21 Soptipp.

Naturvårdsverket bedömer att det idag finns flera tusen nedlagda deponier i Sverige (Naturvårdsverket, 2014b). Soptippar har genom tiderna placerats långt utanför samhällena, men eftersom många tätorter växer och breder ut sig bebyggs nu mark väldigt nära de gamla, övertäckta deponierna, vilket kan innebära risker för människorna som bosätter sig i närheten (Hedström, 2014). De deponier som är i drift idag har sedan år 2001 tydliga krav på uppsamling av lakvatten, bottentätning, skyddsåtgärder under och runt om deponin samt krav på en avslutande täckning för att minska miljöpåverkan från avfallet (Naturvårdsverket, 2014b). De deponier som lades ned när kraven för miljöskydd var lägre eller när inga krav på skyddsåtgärder fanns, har därför helt andra förutsättningar och miljöskyddet är därför generellt sämre vid dessa deponier än vid de deponier som är i drift idag (ibid). Nedlagda deponier kan därför påverka människors hälsa och miljön negativt genom att mark, grund- och ytvatten kan förorenas samt att utsläpp av deponigas kan ske. De områden som utgör en risk för människors hälsa och miljön behöver därför åtgärdas (Naturvårdsverket, 2014b).

Förvaring av avfall i en deponi klassas som pågående miljöfarlig verksamhet även om deponin är nedlagd och inte tar emot något nytt avfall, eftersom utsläpp av föroreningarna ändå fortsätter att ske. Ansvarsfrågan kring åtgärdsprogram för minskning av miljöpåverkan följer därför miljöbalkens regler som säger att den som är ansvarig för deponin också måste utföra skyddsåtgärder. Kommunala nedlagda deponier är därför kommunernas ansvar att inventera och riskbedöma (Naturvårdsverket, 2014b). Naturvårdsverket håller på med att

sammanställa en vägledning för inventering, undersökning och riskklassning av nedlagda deponier. Inventering och riskklassning ger en bild av hur omfattande problemet med nedlagda deponier är samt hur prioritering av åtgärder ska ske. Vägledningen syftar även till att vara ett stöd för samhällsplaneringen då kunskap behövs om var nedlagda deponier finns och vilka risker de utgör, vid exploatering av nya områden (ibid).

*Potentiella föroreningar*

Eftersom avfallet i deponier kan variera, beroende under vilken tidsperiod de lades ned eller av andra orsaker, är det svårt att exakt säga vilka föroreningar som kan finnas. De föroreningarna som dock kan förväntas finnas i, och spridas från, gamla deponier är enligt Naturvårdsverket (2014b) bland annat tungmetaller, klorerade och icke klorerade lösningsmedel, klorerade kolväten, fenoler, olja och närsalter. Även växthusgaser i form av metangas kan deponierna släppa ut (Naturvårdsverket, 2014b).

*Exempel på fyto Remediering på gamla soptippar*

Freshkills Park, Staten Island, New York City, USA  
Freshkills Park är en satsning av New York City att omvandla det som en gång var världens största deponi, ett cirka 8,9 km<sup>2</sup> stort område till en produktiv, rekreativ och vacker park. Området är tre gånger större än Central Park och det största parkområdet som New York City har utvecklat på 100 år. Målet med omvandlingen av deponiområdet är att parken ska göras till en symbol för förnyelse och vara ett uttryck för hur samhället kan återställa



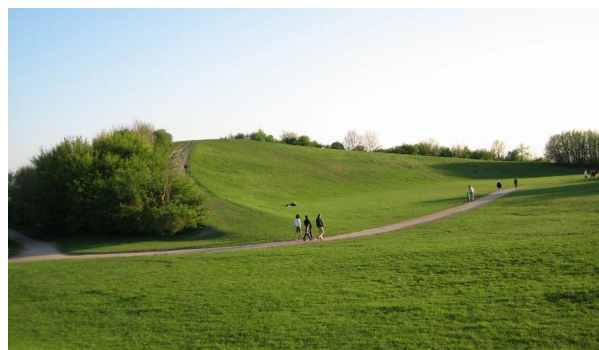
balansen i landskapet (NYC Department of Parks & Recreation, 2015). Parken ska också fungera som en forskningsarena för ny kunskap inom miljöfrågor, restaurering av habitat för växt- och djurliv, jordproduktion, vattenkvalitet och alternativa energitillgångar (ibid). Ett exempel på det är ett fältexperiment som utfördes under 1990-talet för att demonstrera fördelarna med att använda vegetation för täckning av en liten del av deponin (Young, 2001). För att skapa ett naturligt och självunderhållande vegetationssystem användes växter som återfanns i området kring deponin. Gräsarter var redan innan accepterade för täckning, men träd och buskar med större rotsystem var inte tillåtet då risken för att rötterna ska tränga igenom täckningssystemet uppfattades som stort och att föroreningarna på så vis kan läcka ut. Gräsarter användes därför som huvudarter men träd och buskar planterades också in för att undersöka risken med att rötterna går igenom täckningssystemet. Fördelarna med fältexperimentet blev enligt Young (2001) många, planteringarna utvecklades snabbt till ett habitat för växt- och djurlivet vilket i sin tur även lockade många människor. Experimentet visade också att rötter som växer igenom täckningssystemet faktiskt inte är något problem. Rötterna visade sig på dessa platser till skillnad från utanför täckningssystemet i större grad växa i sidled istället för i djupled (Young, 2001). I vanliga fall brukar landskapsarkitekten komma in i slutet av restaureringen av deponier, men i projektet med Fresh Kills landfill var designteamet tillsammans med ingenjörerna inkluderat i ansvaret för utformningen av sluttäckningssystemet (ibid).



Figur 6:22 Visionsbild från Freshkills Park.

#### St Hans Backar, Lund

St Hans Backar i Lund var en av stadens största soptippar fram till 1960-talet då det beslutades att den skulle stängas ner. 1971 ritade den dåvarande stadsträdgårdsmästaren Robert Montan, planen för ett backlandskap uppbyggt av soptippens avfall med den högsta kullen på 26 meter, och en park tillgänglig för rekreation. På 1990-talet gjordes åtgärder för att öka den biologiska mångfalden i parken genom att anlägga en bäck, en damm, betesmarker och omvända stora gräsytor till ängar. Backarna är ett populärt rekreativt område i Lund med plats för många aktiviteter (Lunds kommun, 2013). Området har dock fått problem med att snö och regnvatten tränger igenom marken ner till det gamla avfallet vilket gör att lakvatten tränger ut från området och orsakar föroreningar i närliggande vattendrag. Detta åtgärdas nu med ett tåligare dräneringssystem och genom att täcka med lera (ibid).



Figur 6:23 Kullarna på St Hans backar

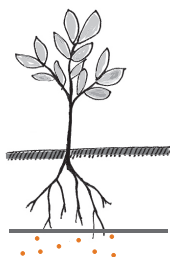
### Förslag till reningsmodell

#### Utgångsläge:

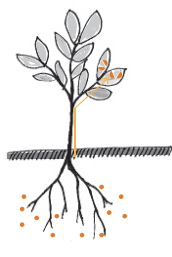
Soptippar är områden med ett lågt exploateringsvärde, vilket gör att det finns möjlighet att istället skapa rekreationsområden på de nedlagda deponierna likt vid de två ovan nämnda referensplatserna. För att det ska vara aktuellt med att skapa just rekreationsområden är det troligt att den nedlagda soptippen ligger i närhet till ett eller flera bostadsområden.

#### Möjliga fytotekniker

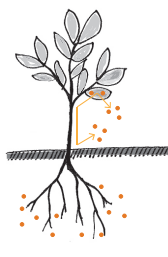
Vid nedlagda deponier kan olika strategier tas, antingen kan deponin kapslas in för att föroreningarna inte ska kunna försvinna därifrån, då kan evapotranspirationstäckning fungera som ett alternativ. Evapotranspirationstäckning används för att med hjälp av växter täcka in och isolera avfallet från att läcka ut från deponin genom att rötterna kan hålla kvar vattnet i täckningslagret och inte komma i kontakt med avfallet. Eller så kan fytoremedieringstäckning användas för att växterna samtidigt ska kunna bryta ned föroreningarna. Fytoremedieringstäckning består av processerna fytodegradering, fytoavdunstning och fytostimulering/rhizodegradering. Rhizofiltrering kan användas vid rening av lakvatten från deponier och hydraulisk kontroll som barriär för att hindra föroreningarna att spridas från deponin.



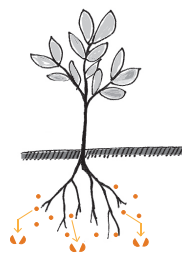
Figur 6:24 Fytoäckning - evapotranspirationstäckning och fytoremedieringstäckning



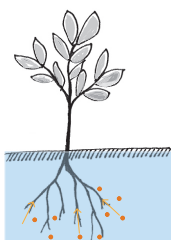
Figur 6:25 Fytodegradering (organiska föreningar, fenoler, klorerade lösningar)



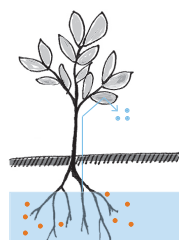
Figur 6:26 Fytoavdunstning (kvikksilver, arsenik, selen och klorerade lösningsmedel)



Figur 6:27 Fytostimulering/ rhizodegradering (organiska föreningar)



Figur 6:28 Rhizofiltrering (lakvatten från deponier)



Figur 6:29 Hydraulisk kontroll (organiska föreningar)

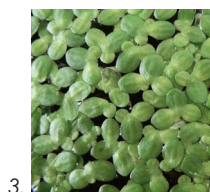
Vegetation som inkapslare

Genom att använda evapotranspirationstäckning byggs ett tjockt lager av jord med hög vattenhållande kapacitet som t ex lera eller silt upp som täckning av avfallet och därefter planteras lämplig vegetation för de jordförhållandena in. Eftersom metoden inte syftar till att rena avfallet utan endast täcka behöver inte särskild hänsyn till val av växter tas. Därför finns det möjlighet att skapa en naturlig extensiv park där vegetation som växer naturligt i området kan planteras in för att kunna skapa ett långsiktigt självgående system. En variation mellan det öppna och det slutna kan skapas genom att dungar och större områden av skogsliknande bestånd varvas med öppna ängar eller gräsytor. Avfallet kan användas för att skapa spännande landformer för att ge parken ytterligare ett intressant inslag och för att påminna om platsens tidigare användningsområde likt vid S:t Hans backar (se figur 6:23).

För att förhindra problem med läckage av lakvatten kan en bufferzon med ett system av dammar och små vattendrag skapas runt omkring deponin där växter som har förmågan att rhizofiltrera vattnet kan förhindra lakvattnet att spridas vidare. Poppel kan användas för hydraulisk kontroll och kan skapa en barriär för att stoppa lakvatten från att förorena grundvattnet, poppel kan även fungera rhizofiltrerande. Nedan är en växtlista med lämpliga växter för dessa syften presenterade.

#### VÄXTLISTA

1. *Azolla pinnata* - fjädermossbräken (rhizofiltrering)
2. *Eichhornia crassipes* - vattenhyacint (rhizofiltrering)
3. *Lemna minor* - andmat (rhizofiltrering)
4. *Populus* sp. - poppel (rhizofiltrering, hydraulisk kontroll)
5. *Typha* sp. - kaveldun (rhizofiltrering)





*Kommentarer*

Nedlagda soptippar är inte vanligt definierade som ett postindustriellt område, men då de är en effekt av det industriella samhället är det ändå en intressant kontext att inkludera i detta avsnitt för reningsmodeller. Soptipparna är ofta heller inte centralt belägna områden som är av intresse för att exploateras. Dock börjar avståndet krympa mellan dem och bebyggt område ju mer städerna utvidgas, fler deponier kommer därför i framtiden möjligen även att ligga i anslutning till bostäder. Att soptipparna återfinns i närhet till bostäder och människor gör det än mer angeläget att både utnyttja ytan och att skydda dem från att läcka ut tungmetaller och andra typer av föroreningar.

Likt som för de två nämnda referensprojekten, Freshkills Park och St Hans backar, är det vanligast att täcka in deponin med olika metoder. Att använda vegetation som täckning ger fördelar som att risken för erosion minskar, nya växt- och djurhabitat kan skapas och platsen kan tillgängliggöras för människor. Evapotranspirationstäckning har därför en stor möjlighet att skapa rekreativa naturområden med hög biologisk mångfald. Fytoremediering som metod för att rena avfallet är vad jag funnit, ännu inte en beprövad metod men skulle vara intressant att testa i en liten skala. Men att använda fytoremediering som en bufferzon för att skydda mot att eventuellt lakvatten läcker ut från området likt vid St Hans backar ser jag som en stor potential. Även vid de deponier som inte ligger i närhet till boende kan använda samma principer för täckning med vegetation. Men en lika stor tyngdpunkt på utformningen behöver i det fallet inte tas.



## DEL 7.

### SAMMANFATTANDE DISKUSSION

---

Uppsatsens syfte har varit att undersöka fyto Remedieringens möjligheter och utmaningar som saneringsmetod i Sverige. Syftet har också varit att få en grundläggande kunskap kring metoden och hur en tillämpning av den skulle kunna se ut för att kunna förespråka metoden. Målet har varit att göra en sammanställning av den forskning och kunskap kring fyto Remediering som finns idag men också att undersöka fyto Remedieringens potentiella möjlighet att bidra till rekreativa värden till reningsplatsen. I denna del förs en sammanfattande diskussion där jag reflekterar kring den kunskap jag samlat in genom litteraturstudien och genom de tillämpande delarna av arbetet för att besvara mina frågeställningar.

#### VAL AV ÄMNE OCH METOD

Idén om att kunna använda naturen för att återställa det som vi, för mänskliga syften, har "förstört" är något som tilltalar mig och min utgångspunkt var att jag såg fyto Remediering som något positivt och som en metod med stor potential. Att skriva om

fyto Remediering i detta examensarbete har däremot inte varit en lätt uppgift då fyto Remediering som jag insett mer och mer under arbetets gång är en väldigt komplex metod. Att det är ett relativt nytt ämne inom landskapsarkitektur har också bidragit till att det stundvis har varit svårt att se kopplingarna däremellan och finna min roll i ämnet. Den tekniska delen av fyto Remediering med de biologiska och ekologiska faktorerna har varit komplexa och på så vis svåra att bearbeta. Den största mängden litteratur som finns publicerad är främst presenterade forskningsresultat från laborietester eller fältförsök, det tog därför lång tid att sälla vad som var relevant inom ramen för uppsatsen men också inom ramen för landskapsarkitektur. Det har också varit svårt att hitta litteratur om ämnet på svenska. Jag såg därför under arbetets gång ett behov av lättillgänglig information om fyto Remediering i en svensk kontext och valde att försöka sammanställa den kunskap kring metoden som jag anser behövs för att kunna få en uppfattning kring metodens användbarhet.

Arbetet är därför riktat till de yrkesgrupper (landskapsarkitekter, fysiska planerare med flera) som har en position att i planprocessen kunna påverka valet av saneringsmetod men som inte har någon kunskap kring just fyto Remediering.

Under arbetets gång föll det tillämpande förslaget/designförslaget som jag hade som avsikt att göra bort då det var svårt att hitta all den information om platsen som behövdes för att kunna göra ett detaljerat förslag på tillämpning av fyto Remediering . Centrala Älvstaden i Göteborg och Norra Sorgenfri i Malmö var de två områden som jag kollade på, då dessa uppfyllde mina yttre krav som centrala områden med tydliga exploateringsplaner och med visionen att bland annat vara innovativa och ekologiskt hållbara. Att istället arbeta fram utformningsprinciper utan att vara platsspecifik, gjorde att jag kunde vara mer generell och istället försöka visa på bredden av fyto Remedieringens möjligheter. Utan en plats faller dock många aspekter som är viktiga att ta hänsyn till vid en design bort. Ett förslag på en plats hade å andra sidan också inneburit en generalisering då en ordentlig markundersökning samt annat förarbete inte hade kunnat inkluderas.

Jag har haft en bred ingång till ämnet för att skaffa mig en tydlig helhetsbild kring fyto Remediering. För att nå ytterligare kunskap kring metoden och dess potential i Sverige hade det varit intressant med ännu fler intervjuer - både med personer som jobbat med metoden men också med fler personer som jobbar på kommuner för att få en ännu större förståelse för var i planprocessen och vad det är i den fysiska planeringen som gör att fyto Remediering inte kan prioriteras. Fallstudier av platser där metoden har använts hade också varit intressant att göra, för att kunna få ännu djupare kunskap om tillämpning av metoden.

## REFLEKTIONER

### *Nya hållbara tekniker behövs*

I uppsatsen har det framkommit att det finns många förorenade områden i centrala delar av städer i Sverige som utgör attraktiv mark för exploatering. Att återvinna mark genom att efterbehandla de förorenade områdena och planera för en ny

markanvändning istället för att utvidga städerna och bygga på nya områden är positivt ur många aspekter och ett argument för att värna om jorden som naturresurs. Efterbehandlingen som oftast sker genom schaktning och deponering är en kostsam och en inte särskilt miljövänlig metod. Att gräva upp de förorenade jordmassorna, transportera bort och deponera dem på en annan plats kan anses vara att endast förflytta problemen vilket gör att hållbarheten med att återanvända den förorenade marken då också kan ifrågasättas. Det stora antalet förorenade områden, runt 82 000 stycken (Miljömålsportalen, 2014), gör att behovet av efterbehandling för att återställa områdena till rena och hälsosamma miljöer är stort och är ett arbete som kommer ta mycket lång tid. För att det högt uppsatta miljömålet Giftfri miljö, som bland annat säger att "...halterna av naturfrämmande ämnen är nära noll och deras påverkan på människors hälsa och ekosystemen är försumbar." (Naturvårdsverket, 2014a), ska kunna realiseras borde nya ekonomiskt och ekologiskt hållbara tekniker för sanering vara av stort intresse. Nätverket Renare Mark, som jag nämnt som en av aktörerna inom efterbehandlingsåtgärder, menar att en förändring av hanteringen av föroreningar är på gång då metoder och tekniker från utlandet börjar dyka upp samt att det svenska regelverket börjar ifrågasättas (Nätverket Renare Mark, 2014). Fyto Remediering är som framkommit genom min litteraturstudie en metod som både är ekologiskt och ekonomiskt hållbar. Fyto Remediering skulle därför ha potential att användas för att fler förorenade områden ska få möjlighet att återställas till friska och rena miljöer för att sedan kunna återanvändas.

Det finns mycket forskning kring metoden, men få fältförsök i Sverige. Fler fältförsök behövs för att metoden ska kunna nå ett genombrott i Sverige. Men vem bör vara drivande för att dessa fältförsök ska ske, och vem ska bidra ekonomiskt till försöken? I dagsläget finns det inga saneringsföretag som erbjuder fyto Remediering i Sverige (Greger, 2014). Om det beror på att det inte finns någon efterfrågan, någon kompetens eller att det inte finns någon ekonomisk vinning med metoden har jag svårt att uttala mig om. Det är däremot intressanta frågeställningar som skulle kunna utredas vidare.

Min utgångspunkt har varit att undersöka hur fytoremediering kan användas i omvandlingsprocessen för centrala postindustriella områden. Jag har insett svårigheterna med metodens tidsåtgång då en snabb saneringsprocess ofta krävs och inser att de platser där fytoremediering kanske har störst möjlighet att användas som metod, i alla fall till en början, är de förorenade platserna som har låg prioritet för åtgärd. Det beror på att dessa platser blir svåra att efterbehandla med konventionella metoder på grund av bristande finansiering och att marken har ett lågt exploateringsvärde. Nedlagda bensinstationer och deponier kan vara exempel på sådana områden. Genom att fytoremediering kan vara en långsiktig och ekonomiskt gynnsam metod, kan fler av dessa områden renas och tillgängliggöras samtidigt som det ökar värdet på marken för exploatering.

#### *Tidsperspektivet*

En av de största begränsningarna med fytoremediering är tidsperspektivet, både i den fysiska planeringen vid efterbehandling av förorenade områden och med den långa tid som metoden behöver för att kunna nå önskat resultat. Markföroreningar verkar trots det stora problem de utgör inte få tillräckligt stort utrymme i den fysiska planeringen vilket gör att frågan om efterbehandling ofta kommer in sent i planprocesserna. Denna tidsproblematik kan göra det svårt att genomföra pilotstudier med nya och mer hållbara saneringsmetoder. Hur man kan arbeta mer långsiktigt med sanering i stadsomvandlingsprojekt är en fråga som jag inom detta arbete inte kunnat ge ett konkret svar på. Det är dock en viktig fråga att gå vidare med för att fytoremediering ska kunna få utrymme som saneringsmetod i urbana sammanhang.

Eftersom det tar lång tid att studera fytoremedieringens effektivitet kan det göra att forskningen går långsamt framåt. Att reningsprocessen för fytoremediering pågår under en lång tidsperiod skulle även kunna innebära problem utifrån ett skötselperspektiv. Att samma kompetens finns med genom hela projektet kan omöjligen försäkras, vilket skulle kunna leda till kunskapen kring bland annat hanteringen

av det förorenade växtmaterialet kan försvinna över tid. En annan viktig aspekt är att budgeten för fytoremediering måste vara beräknad att täcka hela reningsprocessen för att säkerställa att omhändertagandet av platsen vid reningens slut görs på ett korrekt sätt.

Tidsperspektivet kan också vändas till något positivt, genom att se möjligheterna med att kunna tillgängliggöra en plats innan den exploateras och möjligheten att skapa tillfälliga gröna rekreativa miljöer.

#### *Landskapsarkitekten och fytoremediering*

Som tidigare nämnt är fytoremediering ett relativt nytt ämne inom landskapsarkitekturen. Fler verkar dock uppmärksamma metodens potential, att fler studenter väljer att skriva både kandidat- och examensarbeten om fytoremediering är till exempel ett tydligt tecken på att kännedom kring metoden sprids. Jag tror att landskapsarkitekter kan spela en stor roll för att metoden ska få fler förespråkare. Landskapsarkitektyrket befinner sig både i planeringsvärlden och i växtvärlden och är van vid ett långsiktigt och holistiskt tänkande. Genom att kunna visa på hur fytoremediering kan tillföra både estetiska och sociala värden till omvandlandet av postindustriella miljöer kan vi som landskapsarkitekter på så sätt skapa intresse och kännedom kring metoden och vara länken mellan vetenskapen och praktiken. Det kan leda till att mer forskning inom ämnet görs och att fler politiker och tjänstemän inom kommuner är beredda på att satsa på försök.

#### *Fytoremediering och design*

Under arbetets gång har endast få exempel på när fytoremediering har kombinerats med design i en urban kontext funnits. Många fytoremedieringsprojekt som hittills har genomförts är ofta uppbyggda av monokulturer (Jackson, 2001). För att fytoremediering ska kunna få en plats i omvandlingsarbetet av urbana industriområden är ett större fokus på design viktigt, då en urban miljö sätter högre krav på de estetiska och rekreativa värdena under reningsprocessen.

Att landskapsarkitekter blir involverade i utformandet av fyto Remedieringsprojekt gör det möjligt att förändra uttrycket och upplevelsen i fyto Remedieringsplanteringar.

I dagens läge är växtutbudet inom fyto Remediering begränsat, vilket kan leda till utmaningar i gestaltungsprocessen. Hur kan man skapa tilltalande miljöer med få arter samt växter som normalt sett inte återfinns i urbana grönområden? Som de framtagna reningsmodellerna i detta arbete visar finns det fortfarande möjlighet att kunna skapa variationsrika och spännande miljöer. Istället för att se det begränsade växtutbudet som hämmande i utformningen av platsen kan det istället ses som en utmaning. Att inspireras av det ”nya vilda” designidealet som har nämnts i uppsatsen kan fyto Remediering likt den spontana vegetationen ge en unik karaktär till platsen och skapa ett uttryck som kan kopplas samman med postindustriella miljöer. Att området är under ständig förändring på grund av att mycket växtmaterial skördas, ger en typ av succession som också kan tillföra intressanta aspekter till platsen. Hur besökarens rörelse planeras genom platsen kan också påverka hur platsen upplevs och vara ett verktyg för att skapa fler upplevelsevärden. Att planteringarna vid fyto Remedieringsprojekt ofta är tillfälliga ger också designutmaningar. Vegetationens livscykel blir kortare och det leder till utmaningar i uppbyggandet av vegetationen som på kort tid behöver skapa kvaliteter till området. Som reningsmodell tre vid gasverkstomter i del sex visar kan en mogen karaktär skapas på relativt kort tid genom att använda en dynamisk vegetationsbyggnadsteknik. Vilket även kan ge möjlighet att bygga upp en stomme för framtida grönstruktur till platsen.

Hur tillfälliga grönområden som skapas vid användandet av fyto Remediering påverkar stadsbilden och dess möjlighet att skapa nya rörelsemönster i staden genom att tillgängliggöra nya platser skulle vara intressant att studera och diskutera vidare. De sociala och pedagogiska värdena som kan tillkomma ur detta perspektiv är också intressanta aspekter att diskutera vidare kring liksom de landskapsekologiska. Hur påverkas ekosystemen av de fyto Remedierande växterna?

## SLUTORD

Att kasta sig ut i ett helt nytt ämne är inte helt enkelt, men otroligt lärorikt. Fyto Remediering är, trots de många begränsningar som jag funnit, en metod som jag fortfarande har stora förhoppningar om att få se exempel på i framtiden. Jag hoppas därför att mitt arbete kan sprida kunskap och vara en del i diskussionen kring fyto Remediering som en metod i svenska sammanhang.







## TRYCKT LITTERATUR

Bolund, P. & Hunhammar, S. (1999) Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics*. Vol. 29(2), 291-301.

Brown, R. & Corry, R. (2011) Evidence-based landscape Architecture: The maturing of a profession. *Landscape and Urban Planning*. Vol. 100. Sid 327-329.

COLDREM – Soil Remediation in a cold climate (2003) COLDREM:s syntesrapport – allmän del – 2003.

Dahlgren, K. (2001) Ett rent paradis. *Area: Tidskrift om landskapsarkitektur*. 2001(3):10-17

Dee, Catherine (2001) *Form and Fabric in Landscape Architecture: a visual introduction*.

## REFERENSER

---

Ensley, B.D. (2000) Rationale for use of phytoremediation. I: *Phytoremediation of Toxic Metals – Using plants to clean up the environment*. Red. Raskin, I. & Ensley, B.D. New Jersey: John Wiley & Sons, sid. 3-13

Glass, D.J. (2000) Economic potential of phytoremediation. I: *Phytoremediation of Toxic Metals – Using plants to clean up the environment*. Red. Raskin, I. & Ensley, B.D. New Jersey: John Wiley & Sons, sid. 15-33

Greger, M. & Landberg, T. (1999) Use of Willow in Phytoextraction. *International Journal of Phytoremediation*. Vol. 1 (2), sid. 115-123

Gustavsson, R. (1994) *Det nya landskapet*. Skogsstyrelsen: Jönköping

Hallemar, D. (2009) In i det vilda. *Tidskriften Arkitektur*. 2009(5):14-23

---

Jackson, L. (2001) Beyond clean-up of Manufactured sites: remediation, restoration and renewal of habitat. I: *Manufactured Sites – Rethinking the Post-Industrial Landscape*. Kirkwood, N. (red.) (2001). New York: Spon Press, sid 35-42

Jorgensen, A. (2004) The social and cultural context of ecological plantings. I: *The Dynamic Landscape: Design, Ecology and Management of Naturalistic Urban Planting*. Dunnett, N. & Hitchmough, J. (red.) (2004) London: Spon Press, sid. 293-325

Kaplan, S. (1995) The restorative benefits of nature: toward an integrated framework. *Journal of Environmental Psychology*. Vol. 15(3), 169-182.

Kingsbury, N. (2004) Contemporary overview of naturalistic planting design. I: *The Dynamic Landscape: Design, Ecology and Management of Naturalistic Urban Planting*. Dunnett, N. & Hitchmough, J. (red.) (2004) London: Spon Press, sid. 58-96

Kirkwood, N. (red.) (2001). Manufactured sites: rethinking the post-industrial landscape. New York: Spon Press

Krinke, R. (2001). Overview: design practice and manufactured sites. I: *Manufactured sites: rethinking the post-industrial landscape*. Kirkwood, N (red.) (2001). New York: Spon Press, sid 125-149

Latz, P. (2001). Landscape Park Duisburg-Nord: the metamorphosis of an industrial site. *Manufactured sites: rethinking the post-industrial landscape*. Kirkwood, N (red.) (2001). New York: Spon Press, sid 150-161

Marmiroli, N. & McCutcheon, S.C. (2003) Making Phytoremediation a Successful Technology. I: *Phytoremediation – Transformation and control of contaminants*. Red. McCutcheon, S.C. & Schnoor, J.L. New Jersey: John Wiley & Sons, sid. 85-119

Marmiroli, N.; Marmiroli, M. & Monciardini, P. (1999) Phytoremediation: How plants can help in cleaning the environment. I: *Perspectives*

*in Ecology: a glance from the VII International Congress of Ecology*. Red. Almo Farina. Leiden: Backhuys Publishers, sid. 491-496

Marmiroli, N.; Marmiroli, M. & Maestri, E. (2006) Phytoremediation and Phytotechnologies: a Review for the present and the future. *Soil and water pollution monitoring, protection and remediation*. Vol. 3 -23. Sid. 403-416

McCutcheon, S.C. & Schnoor, J.L. (2003) Overview of phytotransformation and control of wastes. I: *Phytoremediation – Transformation and control of contaminants*. Red. McCutcheon, S.C. & Schnoor, J.L. New Jersey: John Wiley & Sons, sid. 3-58

Patel, R. & Davidsson, B. (2011) Forskningsmetodikens grunder: att planera, genomföra och rapportera en undersökning. Lund: Studentlitteratur

Pilon-Smits, Elizabeth (2005) Phytoremediation. *Annual review of Plant Biology*. Vol. 56, sid. 15-39

Raskin, I. & Ensley, B.D. (2000) *Phytoremediation of Toxic Metals – Using plants to clean up the environment*. New Jersey: John Wiley & Sons

Rock, S. (2001) Phytoremediation: Integrating art and engineering through planting. I: *Manufactured Sites – Rethinking the Post-Industrial Landscape*. Red. Kirkwood, N. London/New York: Spoon Press, sid 52-60

Saier, M.H., & Trevors, J.T. (2010) Phytoremediation. *Water, Air and Soil Pollution*. Vol. 205 (1) sid. 61-63

Salt, D.E.; Blaylock, M.; Kumar, N.; Dushenkov, V.; Ensley, B.D.; Chet, I. & Raskin, I., (1995) Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Biotechnology: the international journal of biology and industry*. New York: Nature publishing company. Vol. 13(5), sid. 468-474

Scalenghe, R. & Marsan, F. A. (2009) The Antropogenic sealing of soils in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, 90, 1-10.

---

Schwitzguébel, J.-P.; van der Lelie, D.; Baker, A.; Glass, D. & Vangonsveld, J., (2002) Phytoremediation: European and American Trends. Successes, obstacles and needs. *Soils & Sediments*. Vol. 2 (2), sid. 91-99

Slegers, F. (2010) Phytoremediation as Green Infrastructure and a Landscape of Experiences. *Proceedings of the Annual International Conference on Soils, Sediments, Water and Energy*. Vol. 15 (13)

Tucker, R.K. & Shaw, J.A. (2000) Phytoremediation and Public Acceptance. I: *Phytoremediation of Toxic Metals – Using plants to clean up the environment*. Red. Raskin, I. & Ensley, B.D. New Jersey: John Wiley & Sons, sid. 33-42

Vangronsvelt, J. & Cunningham, S.D., (1998) Introduction to the Concepts. I: *Metal-Contaminated Soils – In Situ Inactivation and Phytoremediation*. Red. Vangronsvelt, J. & Cunningham, S.D. Berlin: Springer, sid. 1-15

Ward Thompson, C (2011) Linking landscape and health: The recurring theme. *Landscape and Urban Planning*. Vol. 99(3-4), 187-195.

Wiley, Neil (red.) (2007). *Phytoremediation: methods and reviews*. New Jersey: Humana

Wilschut, M., Theuvs, P. & Duchhart, I. (2013) Phytoremediative urban design: Transforming a derelict and polluted harbour area into a green and productive neighbourhood. *Environmental Pollution*. Vol. 183. Sid. 81-88

Young, W. (2001) Fresh Kills landfill: the restoration of landfills and root penetration. I: *Manufactured Sites – Rethinking the Post-Industrial Landscape*. Red. Kirkwood, N. London/New York: Spoon Press, sid. 178-192

## ELEKTRONISKA DOKUMENT

Andersson, G. (2003) Metoder för marksanering. *Miljö & Utveckling*, 7 maj. Tillgänglig: <http://www.miljo-utveckling.se/metoder-for-marksanering/> [2014-12-11]

Avfall Sverige (2015) *Ordlista*. Tillgänglig: <http://www.avfallsverige.se/ordlista/> [2015-01-14]

European commission (2007) Environment fact sheet: soil protection - a new policy for the EU. Brussels, EU.

EPA – United States Environmental Protection Agency (2000) *Introduction to Phytoremediation*. Tillgänglig: <http://www.clu-in.org/download/remed/introphyto.pdf> [2014-04-14]

EPA – United States Environmental Protection Agency (2001) *Brownfields Technology Primer: Selecting and Using Phytoremediation of Site Cleanup*. Tillgänglig: <http://www.epa.gov/tio/download/remed/phytorempriemer.pdf>

Falk, M. & Ronnheden, J. (2010) *Succession; Landskapsarkitekten och fytoremedieringen*. Examensarbete vid institutionen för stad och land, SLU. Tillgänglig: [http://stud.epsilon.slu.se/1926/1/falk\\_m\\_etal\\_101018.pdf](http://stud.epsilon.slu.se/1926/1/falk_m_etal_101018.pdf) [2014-12-27]

Hedström, L. A. (2014) Risk för människor när husen byggs allt närmre deponier. *Sveriges radio*, 21 januari. Tillgänglig: <http://sverigesradio.se/sida/artikel.aspx?programid=128&artikel=5759665> [2015-01-14]

ISRIC – World Soil Information (2014) *Soil threats*. Tillgänglig: <http://www.isric.org/about-soils/soil-threats> [2014-04-15]

ITRC – The Interstate Technology & Regulatory Council (2009) *Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees, Revised*. Tillgänglig:

Larsen, L.C. (2003) Erfaringer med phyto-oprensning. *AVJ info nr. 3 – 2003*. Tillgänglig: <http://www.jordforurening.info/filer/>

---

avjinfo/30/2003-3.pdf [2014-11-25]

Lauer, J. (2014) *Decay inspires creation: the High Line's perennial plant selection*. Power House Growers, 2014-11-28. Tillgänglig: <http://www.powerhousegrowers.com/decay-inspires-creation-the-high-lines-perennial-plant-selection/> [2014-12-16]

Lunds kommun (2013) *S:t Hans backar och park*. Tillgänglig: [http://www.lund.se/Medborgare/Bygga-bo--miljo/Parker-och-natur/Parker-i-Lund/Parker-i-Lunds-kommun/Sankt\\_Hans\\_backar/](http://www.lund.se/Medborgare/Bygga-bo--miljo/Parker-och-natur/Parker-i-Lund/Parker-i-Lunds-kommun/Sankt_Hans_backar/) [2015-01-14]

Länsstyrelsen i Jämtlands Län (2014) *Bensinstationer, SPIMFAB*. Tillgänglig: [http://www.lansstyrelsen.se/jamtland/sv/miljo-och-klimat/verksamheter-med-miljopaverkan/fororenade-omraden/Pages/index\\_spimfab.aspx](http://www.lansstyrelsen.se/jamtland/sv/miljo-och-klimat/verksamheter-med-miljopaverkan/fororenade-omraden/Pages/index_spimfab.aspx) [2014-12-23]

Länsstyrelsen i Skåne Län (2005) *Inventering av förorenad mark – kolgasverkstomter*. Tillgänglig: <http://www.lansstyrelsen.se/skane/SiteCollectionDocuments/Sv/miljo-och-klimat/verksamheter-med-miljopaverkan/fororenade-omraden/inventering-och-identifiering/MIFOinventeringfas1KolgasverkJK.pdf> [2014-05-14]

Länsstyrelsen i Södermanlands Län (2006) *Rapport 2006:3 Inventering av förorenade områden – övrig oorganisk kemiskindustri, pappersbruk, gasverk*. Tillgänglig: [http://www.lansstyrelsen.se/sodermanland/SiteCollectionDocuments/sv/miljo-och-klimat/verksamheter-med-miljopaverkan/fororenade-omraden/inventering/2006\\_3.pdf](http://www.lansstyrelsen.se/sodermanland/SiteCollectionDocuments/sv/miljo-och-klimat/verksamheter-med-miljopaverkan/fororenade-omraden/inventering/2006_3.pdf) [2014-05-15]

Miljömålportalen (2014) *Giftfri miljö – förorenade områden*. Tillgänglig: <http://www.miljomal.se/Miljomalen/Alla-indikatorer/Indikatorsida/?iid=56&pl=1> [2014-04-07]

Nationalencyklopedin (2015a) *PAH*. Tillgänglig: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/pah> [2015-01-14]

Nationalencyklopedin (2015b) *PCB*. Tillgänglig:

<http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/pcb> [2015-01-14]

Nationalencyklopedin (2015c) *Rhizosfär*. Tillgänglig: <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/rhizosfar> [2015-01-14]

Naturvårdsverket (2003) *Efterbehandling under utveckling – en utvärdering*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Om-Naturvardsverket/Publikationer/ISBN/5300/91-620-5313-2/> [2014-04-04]

Naturvårdsverket & Boverket (2006) *Förorenade områden och fysisk planering: samarbetsprojekt mellan Naturvårdsverket och Boverket*. Rapport 5608

Naturvårdsverket (2009) *Att välja efterbehandlingsåtgärd – En vägledning från övergripande till mätbara åtgärds mål*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Om-Naturvardsverket/Publikationer/ISBN/5900/978-91-620-5978-1/> [2014-04-14]

Naturvårdsverket (2012) *De svenska miljömålen – en introduktion*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Om-Naturvardsverket/Publikationer/ISBN/8600/978-91-620-8619-0/> [2014-04-07]

Naturvårdsverket (2013a) *Miljöbalken*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Rattsinformation/Miljobalken/> [2014-04-02]

Naturvårdsverket (2013b) *Vem gör vad – förorenade områden*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Uppdelat-efter-omrade/Fororenade-omraden/Vem-gor-vad---fororenade-omraden/> [2014-04-04]

Naturvårdsverket (2014a) *Giftfri miljö*. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Sveriges-miljomal/Miljokvalitetsmalen/Giftfri-miljo/> [2014-04-07]

Naturvårdsverket (2014b) *Att inventera och*



---

åtgärda nedlagda deponier. Tillgänglig: <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledningar/Avfall/Deponering-av-avfall-/Nedlagda-deponier/> [2014-12-23]

New York City Department of Parks & Recreation (2015) *Freshkills Park*. Tillgänglig: <http://www.nycgovparks.org/park-features/freshkills-park/about-the-site> [2015-01-02]

Nätverket Renare Mark (2014) *Nätverket*. Tillgänglig: <http://wp.renaremark.se/natverket/> [2014-12-23]

Pilz, C. (2001) *A Framework for Intergationg Phytoremediation into the Landscape Architectural Design Process*. Master thesis at Faculty of Graduate Studies, University of Guelph, Ontario, Kanada. Tillgänglig: <http://www.collectionscanada.gc.ca/obj/s4/f2/dsk3/ftp04/MQ61938.pdf> [2014-12-27]

SGI – Statens Geotekniska Institut (2014) *Förorenade områden*. Tillgänglig: [http://www.swedgeo.se/templates/SGIStandardPage\\_\\_\\_\\_3071.aspx?epslanguage=SV](http://www.swedgeo.se/templates/SGIStandardPage____3071.aspx?epslanguage=SV) [2014-04-23]

SPBI – Svenska Petroleum och Biodrivmedel Institutet (2014) *SPIMFAB*. Tillgänglig: <http://spbi.se/miljoarbete/spimfab10/> [2014-12-20]

SPI – Svenska Petroleum Institutet (2010) *SPI rekommendation. Efterbehandling av förorenade bensinstationer och dieselanläggningar*. Tillgänglig: [http://spbi.se/spimfab/files/2013/02/SPBI-rek\\_ebh-foroorenade-bensinst-dieselanl\\_uppdaterad20120129.pdf](http://spbi.se/spimfab/files/2013/02/SPBI-rek_ebh-foroorenade-bensinst-dieselanl_uppdaterad20120129.pdf) [2014-12-23]

SPIMFAB – SPI Miljösaneringsfond AB (2014) *Drivmedelbolagens undersökningar och saneringar av förorenade bensinstationer. Slutrapport av SPIMFAB:s arbete under 1997-2014*. Tillgänglig: [http://spbi.se/spimfab/files/2014/09/SPIMFAB\\_Slutrapport\\_webbpdf.pdf](http://spbi.se/spimfab/files/2014/09/SPIMFAB_Slutrapport_webbpdf.pdf) [2014-12-23]

Strand, M. (2013) *Brunt blir grönt: perspektiv och strategier för ekologisk design i postindustriella miljöer*. Examensarbete vid institutionen för landskapsarkitektur, planering och förvaltning,

SLU. Tillgänglig: [http://stud.epsilon.slu.se/6132/1/strand\\_m\\_131120.pdf](http://stud.epsilon.slu.se/6132/1/strand_m_131120.pdf) [2014-12-27]

Sveriges Riksdag (2014) *Miljöbalken (1998:808)* Tillgänglig: [http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Lagar/Svenskforfattningssamling/\\_sfs-1998-808/#K10](http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Lagar/Svenskforfattningssamling/_sfs-1998-808/#K10) [2014-04-07]

Westphal, L.M. & Isebrands, J.G. (2001) *Phytoremediation of Chicago's Brownfields: Consideration of Ecological Approaches and Social Issues. Brownfields 2001 Proceedings: Chicago, II*. Tillgänglig: <http://naturalsystems.uchicago.edu/urbanecosystems/calumet/cdrom/problem%20solving/Westphal%20and%20Isebrands%202001.pdf> [2014-04-10]

## PERSONLIG KONTAKT

Greger, Maria (2015) Forskare vid institutionen för ekologi, miljö och botanik, Stockholms universitet. Telefonintervju [2014-04-10]

Svensson, Anders (2014) Miljöförvaltningen, Göteborg. E-post [2014-03-03]

Torbjörnsson, Håkan (2014) Miljöförvaltningen, Malmö. E-post [2014-11-26]



## DEL 1.

1:1 Illustration fyto Remedierings reningsprocess under mark. Ritad av: Sofia Classon

1:2 Illustration fyto Remedierings upplevelsevärden ovan jord. Ritad av: Sofia Classon

## DEL 2.

2:1 Varning! Förorenat område. Foto: Holger Ellgaard. Tillgänglig: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sjöbergs\\_varv\\_2014l.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sjöbergs_varv_2014l.jpg) [2015-01-30]

2:2 Gaswork Park, Seattle USA. Foto: Ciar. Tillgänglig: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gasworks\\_Park.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gasworks_Park.JPG) [2015-01-30]

2:3 Landschaftspark Duisburg-Nord, Tyskland. Tillgänglig: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Landschaftspark\\_Duisburg\\_Nord.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Landschaftspark_Duisburg_Nord.jpg) [2015-01-30]

## FIGURFÖRTECKNING

---

## DEL 3.

3:1 Illustration, se figur 1:1

3:2 Fytoextraktion. Ritad av Sofia Classon med inspiration från Pilon-Smits (2005) och Falk & Ronnheden (2010).

3:3 Rhizofiltrering. Ritad av Sofia Classon med inspiration från Pilon-Smits (2005) och Falk & Ronnheden (2010).

3:4 Fytostabilisering. Ritad av Sofia Classon med inspiration från Pilon-Smits (2005) och Falk & Ronnheden (2010).

3:5 Fytostimulering/rhizodegradering. Ritad av Sofia Classon med inspiration från Pilon-Smits (2005) och Falk & Ronnheden (2010).

3:6 Fytodegradering. Ritad av Sofia Classon med inspiration från Pilon-Smits (2005) och Falk & Ronnheden (2010).

3:7 Fytoavdunstning. Ritad av Sofia Classon

---

med inspiration från Pilon-Smits (2005) och Falk & Ronnheden (2010).

3:8 Fytotäckning. Ritad av Sofia Classon med inspiration från Pilon-Smits (2005) och Falk & Ronnheden (2010).

3:9 Hydraulisk kontroll. Ritad av Sofia Classon med inspiration från Pilon-Smits (2005) och Falk & Ronnheden (2010).

## DEL 4.

4:1 Illustration, se figur 1:2

4:2 Natur-Park Südgelände, Berlin. Foto: Dirk Ingo Franke. Tillgänglig: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Berlin\\_suedgelanede\\_birkenweiche.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Berlin_suedgelanede_birkenweiche.JPG) [2015-01-30]

4:3 The High Line Park, New York. Foto: Sofia Classon

4:4 Wilschut och Theuws förslag Buiksloterham, Amsterdam. Illustration: Wilschut et al. (2013)

## DEL 5.

5:1 Figur över yrkesområden. Ritad av: Sofia Classon

5:2 Figur över de sex stegen för tillämpning av fyto Remediering. Ritad av: Sofia Classon

5:3 Beslutsträd för val av fyto Remedieringsmetod. Ritad av: Sofia Classon modifierad från Andersson & Svensson (2007).

## DEL 6.

6:1 Illustration. Ritad av: Sofia Classon

6:2 Gasverk. Modifierad av: Sofia Classon

6:3 Fytoremedieringsparken i Holte, Danmark. Foto: M. Svensson i Andersson & Svensson (2007).

6:4-9 Se figur 3:2, 3:4, 3:5, 3:6, 3:7

6:10 Illustration. Ritad av: Sofia Classon

6:11-13 Illustrationer. Ritade av: Sofia Classon

6:14 Nedlagd bensinstation. Modifierad av: Sofia Classon

6:17-19 Se figur 3:5, 3:6, 3:9

6:20 Illustration. Ritad av: Sofia Classon

6:21 Soptipp. Modifierad av: Sofia Classon

6:22 Visionsbild från Freshkills Park. Illustration Courtesy of Field Operations. Tillgänglig: <http://nymag.com/news/features/52452/index1.html> [2015-01-30]

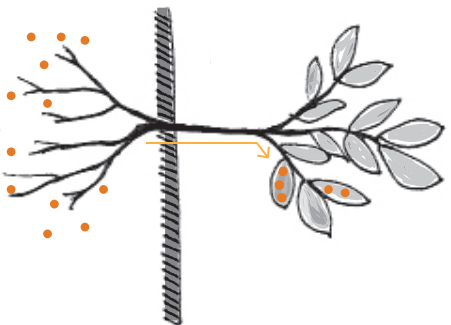
6:23 Kullarna på S:t Hans backar. Foto: Hending Tillgänglig: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sankt\\_hans\\_backar\\_i\\_lund.JPG](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Sankt_hans_backar_i_lund.JPG) [2015-01-30]

6:24-29 Se figur 3:8, 3:6, 3:7, 3:5, 3:3, 3:9

---

# BILAGA 1. FYTOTEKNIKER

## FYTOEXTRAKTION



### HUR?

Växterna tar upp föroreningar via rötterna och förflyttar dem till dess skott och blad. Växten måste sedan skördas för att föroreningarna ska försvinna från platsen.

### VAD?

Tungmetaller, halvmetaller, till viss mån organiska föreningar och radionuklider.

### VAR?

Marker, sediment och slam.

### VÄXTER

#### Trädskikt:

*Populus* x

#### Buskskikt:

*Salix* spp

#### Fältskikt:

*Helianthus annuus*

*Brassica juncea*

*Thlaspi arvense*

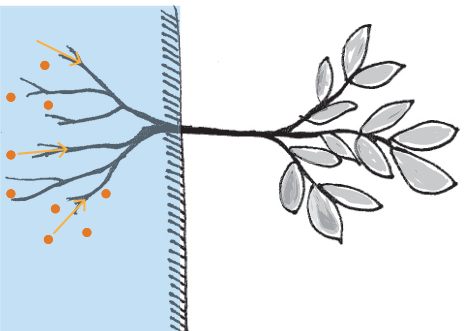
*Alyssum* sp.

*Zea mays*

*Sorghum* sp.

*Medicago sativa*

## RHIZOFILTRERING



### HUR?

Föroreningarna lösta i vatten absorberas, koncentreras eller tas upp av rötterna.

### VAD?

Tungmetaller, halvmetaller, radionuklider, organiska kemikalier, nitrat, ammonium, fosfat och patogens.

### VAR?

Våtmarker, avloppsvatten, lakvatten från deponier, ytvatten och pumpat grundvatten

### VÄXTER

#### Trädskikt:

*Populus* sp.

#### Fältskikt/vattenzon:

*Helianthus annuus*

*Brassica juncea*

*Eichhornia crassipes*

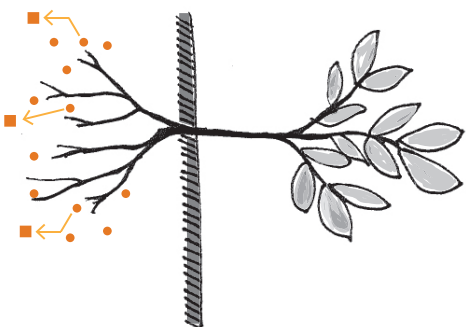
*Lemna minor*

*Azolla pinnata*

*Typha* sp.



## FYTOSTABILISERING



HUR?

Föroreningarna stabiliseras genom absorption och ackumulering av rötterna. Växterna och vätrötterna förhindrar även föroreningar att spridas med vind och jorderosion.

VAD?

Metaller.

VAR?

Marker, sediment och slam.

VÄXTER

**Trädskikt:**

*Populus* sp.

**Fältskikt:**

*Brassica juncea*

*Agrostis tenuis* cv.

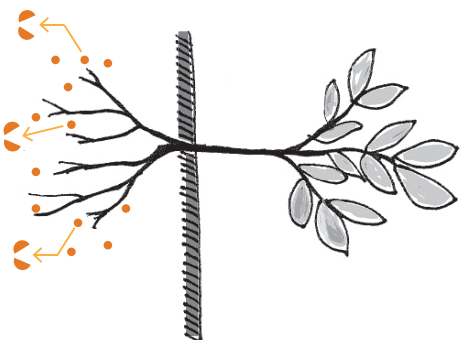
*Festuca rubra*

*Festuca arundinacea*

*Andropogon gerardi*

*Glycine max*

## FYTOSTIMULERING/ RHIZODEGRADERING



HUR?

Föroreningar bryts ner med hjälp av en ökad mikrobiell aktivitet i rhizosfären.

VAD?

Organiska föroreningar PAH:er, TPH, klorerade lösningsmedel, b-kämpningsmedel, PCB:er

VAR?

Marker och våtmarker

VÄXTER

**Trädskikt:**

*Morus* sp.

*Populus* x

**Fältskikt:**

*Typha* sp.

*Brassica juncea*

*Festuca* sp.

*Lolium* sp.

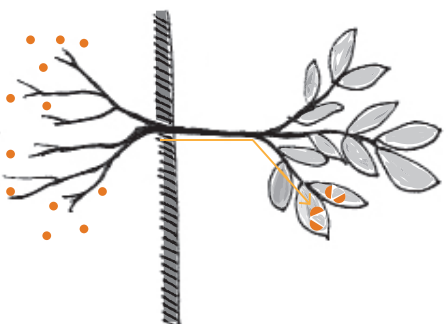
*Panicum* sp.

*Galega orientalis*

*Buchloe dactyloides*

*Bouteloua* sp

## FYTODEGRADERING



**HUR?**

Växterna tar upp föroreningarna till växtvävnaden där de bryts ner till mindre farliga biprodukter.

**VAD?**

Organiska föroreningar, klorerade lösningar, fenoler, bekämpningsmedel.

**VAR?**

Marker, sediment, våtmarker, avloppsvatten, ytvatten, grundvatten och i luften

**VÄXTER**

**Trädsikt:**

*Populus x*

*Salix nigra*

*Betula pendula*

*Taxodium distichum*

*Robinia psuedoacacia*

**Busksikt:**

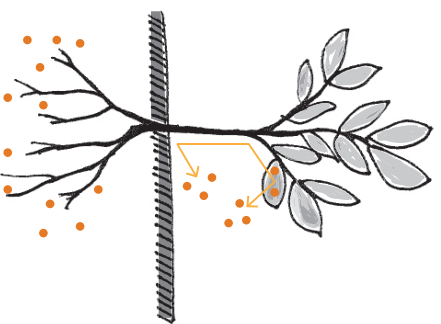
*Rosa spp. (Paul's*

*Scarlet)*

**Fältsikt:**

*Alger*

## FYTOAVDUNSTNING



**HUR?**

Föroreningar tas upp i växten för att sedan frigöras i form av gas till atmosfären.

**VAD?**

Kvikksilver, arsenik, selen och klorerade lösningsmedel

**VAR?**

Marker, salm, våtmarker och grundvatten

**VÄXTER**

**Trädsikt:**

*Populus sp.*

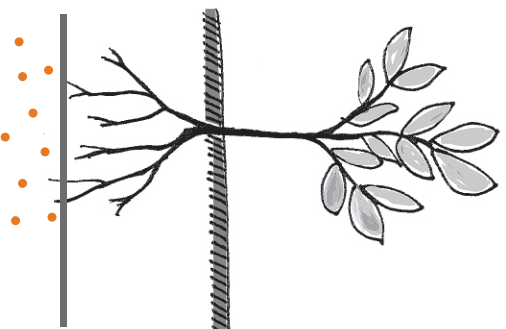
*Robinia psuedoacacia*

**Fältsikt:**

*Brassica sp.*

*Medicago sativa*

## FYTOTÄCKNING



HUR?

Växter används som marktäckare för att skapa en barriär och isolera föroreningarna.

VAD?

Organiska och oorganiska föroreningar.

VAR?

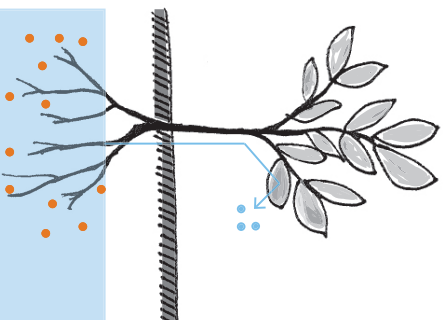
Marker, sediment, slam och ytvatten.

VÄXTER

**Trädskikt:**  
*Populus spp.*

**Fältskikt:**  
Gräsarter

## HYDRAULISK KONTROLL



HUR?

Genom konsumtion av grundvattnen kan växterna förhindra och kontrollera föroreningar att migrera till vattendrag eller liknande.

VAD?

Vattenlösliga organiska och oorganiska föroreningar.

VAR?

Grundvattnen, våtmarker och dagvattnen.

VÄXTER

**Trädskikt:**  
*Populus spp.*

# BILAGA 2. VÄXTLISTA

TRÄD OCH BUSKAR	VÄXTZON/ BLOMNINGSTID	FYTOTEKNIK	FÖRORENINGAR
<i>Betula pendula</i> – vårtbjörk	zon 8	fyto-degradering	PAH
<i>Juniperus</i> sp. – enbär	zon 2-5	fyto-degradering	
<i>Morus</i> sp. – mullebjörk	zon 1-3	fyto-stimulering/rhizo-degradering	PAH, PCB
<i>Populus</i> sp. – poppelarter	zon 3-8	fyto-extraktion, rhizo-filtrering, fyto-stabilisering, fyto-stimulering/rhizo-degradering, fyto-degradering, fyto-avdunstning, fyto-täckning, hydraulisk kontroll	Tungmetaller, PAH, organiska föreningar
<i>Robinia pseudoacacia</i> – robinia	zon 3	fyto-degradering	Organiska föreningar
<i>Rosa</i> spp. (Paul's Scarlet)	juni-aug	fyto-degradering	organiska föreningar
<i>Salix</i> sp. – pilarter	zon 3-8	fyto-extraktion	Tungmetaller, PAH
<i>Salix nigra</i> - svartpil		fyto-degradering	
<i>Taxodium distichum</i> - sumpcypress	zon 2	fyto-degradering	PAH
PERENNER:			
<i>Galega orientalis</i> – fodergetruta	juni – juli	fyto-stimulering/ rhizo-degradering	Organiska föreningar
<i>Medicago sativa</i> – blåusern (alfalfa)	juni-sept	fyto-extraktion, fyto-avdunstning,	tungmetaller
Gräs:			
<i>Agrostis tenuis</i> cv. – rödven		fyto-stabilisering	tungmetaller
<i>Andropogon gerardi</i> – big bluestem		fyto-stabilisering	
<i>Buchloe dactyloides</i> - buffalogräs		fyto-stimulering/ rhizo-degradering	
<i>Bouteloua</i> sp. – grama (präriegräs)		fyto-stimulering/ rhizo-degradering	
<i>Festuca arundinacea</i> – rörsvingel		fyto-stabilisering, fyto-stimulering/ rhizo-degradering	PAH
<i>Festuca rubra</i> – rödsvingel		fyto-stabilisering, fyto-stimulering/ rhizo-degradering	PAH
<i>Glycine max</i> – sojaböna		fyto-stabilisering	

<i>Lolium sp.</i> – repen		fytoestimulering/ rhizodegradering	
ANNUELLER:			
<i>Alyssum sp</i> – gråddådra	Maj-juni	fytoextraktion	
<i>Brassica juncea</i> – sareptasenap	Juli-aug	fytoextraktion, rhizofiltrering, fytostabilisering, fytoestimulering/ rhizodegradering	Tungmetaller, PAH
<i>Helianthus annuus</i> – solros	Aug-sept	fytoextraktion, rhizofiltrering	Tungmetaller, PAH
<i>Thlaspi arvense</i> – peningört	Maj-okt	fytoextraktion	tungmetaller
<i>Zea mays</i> – majs		fytoextraktion	tungmetaller
Gräs:			
<i>Panicum sp</i> – hirs		fytoestimulering/ rhizodegradering	
VATTENVÄXTER:			
<i>Azolla pinnata</i> – fjädermossbräken		rhizofiltrering	tungmetaller
<i>Eichhornia crassipes</i> – vattenhyacint		rhizofiltrering	Tungmetaller, organiska föreningar
<i>Lemna minor</i> – andmat		rhizofiltrering	Organiska föreningar, tungmetaller
<i>Typha sp.</i> – kavedun		fytoestimulering/ rhizodegradering	

